

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko–Geologická fakulta

Institut geoinformatiky

**MODELOVANIE FLUVIÁLNEJ ERÓZIE NA
ÚZEMÍ CHKO STRÁŽOVSKÉ VRCHY**

Diplomová práca

Autor:

Mgr. Bc. Róbert Komoráš

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Mgr. Jozef Richnavský

Ostrava 2010

Prohlašuji, že

- *Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.*
- *Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

V Ostravě, dne 4.5.2010

Mgr. Bc. Róbert Komoráš

Adresa trvalého pobytu diplomanta

Lánska 925/1-15

017 01 Považská Bystrica

Slovenská republika

Pod'akovanie

Rád by som sa poďakoval všetkým, ktorí sa akýmkoľvek spôsobom podieľali na realizácii tejto diplomovej práce, a to najmä Ing. Mgr. Jozefovi Richnavskému za cenné odborné rady pri vytváraní a zostavovaní tohto textu. Ďalej by som rád poďakoval Ing. Oľge Strašíkovej a vedeniu CHKO Strážovské vrchy za konzultácie a poskytnutie cenných informácií, týkajúcich sa predmetu môjho výskumu.

Anotácia

Hlavnou témou tejto diplomovej práce je modelovanie fluvialnej erózie použitím fyzikálneho, zrážkovo-odtokového modelu LISEM.

Prvá časť tejto práce sa zaoberá charakteristikou záujmového územia. Nasleduje teoretický rozbor problematiky modelovania erózie a popis zrážkovo-odtokového modelu LISEM. V praktickej časti tejto práce je popísaný postup, ktorý bol použitý pre tvorbu vstupných vrstiev do tohto modelu. Nasleduje časť zaoberajúca sa spustením analýzy, zhodnotením výsledkov analýzy a overením výsledkov týkajúcich sa lineárnych foriem erózie v teréne. Posledná časť tejto práce sa zaoberá modelovaním plytkých zosuvov pomocou modelu SINMAP. V tejto časti je rozpísaná problematika tvorby vstupov, zhodnotenie analýzy a overenie jej výsledkov v teréne. Súčasťou tejto práce sú aj mapové výstupy z oboch modelov.

Kľúčové slová: LISEM, SINMAP, CHKO Strážovské vrchy, erózia,

Summary

Main thesis of this diploma work is modelling of fluvial erosion by using physical precipitation-runoff model LISEM.

First part of this work deals with the characteristics of the examination area. Subsequent theoretical analysis of the erosion modelling problematics and description of the precipitation-runoff model LISEM. In the work's application part is described the progress, which was used for creation of the input layers onto this model. Next part deals with the initialization of the analysis, reviewing results of the analysis and verification of the results relative to the linear forms of terrain erosion. The last part of this work deals with the modelling of the shallow landslides by using SINMAP model. In this part is written out the problematics of the entries creation, analysis reviewing and results verification in the terrain. Both map outputs are the part of this work.

Keywords: LISEM, SINMAP, CHKO Strážovské vrchy, erosion

OBSAH

ZOZNAM SKRATIEK	6
ÚVOD	7
1 CIEĽ PRÁCE.....	8
2 POUŽITÉ ÚDAJE A SOFTVÉR	9
2.1 POUŽITÉ ÚDAJE	9
2.2 POUŽITÝ SOFTVÉR	10
3 CHKO STRÁŽOVSKÉ VRCHY	11
3.1 VYMEDZENIE ÚZEMIA.....	11
3.2 ČLENENIE, GEOLOGICKÝ PODKLAD A POVRCH	12
3.3 PÔDNE POMERY	15
3.4 HYDROLOGICKÉ POMERY	15
3.5 KLIMATICKÉ POMERY	17
3.6 FLÓRA.....	17
4 PROBLEMATIKA MODELOVANIA ERÓZIE	19
4.1 POJEM ERÓZIA A JEJ TRIEDENIE PODĽA Činiteľa	19
4.2 VODNÁ ERÓZIA.....	19
4.3 TRIEDENIE ERÓZIE PODĽA FORMY.....	20
4.3.1 Plošná erózia.....	20
4.3.2 Lineárne formy erózie.....	20
4.4 PRÍPUSTNÁ MEDZA ERÓZIE.....	21
4.5 ERÓZNE ČiniteLE A MECHANIZMUS ICH PÔSOBenIA	22
4.5.1 Odtok z kvapalných zrážok	24
4.5.2 Morfológia územia.....	24
4.5.3 Geologické a pôdne pomery	26
4.5.4 Vegetačný kryt pôdy	27
4.6 TRIEDENIE ERÓZIE PODĽA INTENZITY	28
4.7 ROČNÝ CHOD ERÓZIE.....	30
5 MODELOVANIE ERÓZNYCH PROCESOV	32
5.1 TRIEDENIE ERÓZNYCH PROCESOV.....	32
5.2 FYZIKÁLNO-MATEMATICKÉ MODELy	33
6 LISEM.....	35
6.1 PROJEKT LISEM	36
6.2 MODEL LISEM	38
6.2.1 PCRaster.....	39
7 PRÍPRAVA VSTUPNÝCH VRSTIEV DO MODELU LISEM	41

7.1	VOĽBA ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA.....	42
7.2	TVORBA DIGITÁLNEHO VÝŠKOVÉHO MODELU	43
7.3	TVORBA MAPOVÉHO KLONU V APLIKÁCIÍ NUTSHELL	43
7.4	VRSTVY VLASTNOSTÍ POVODIA	45
7.5	VRSTVY VEGETÁCIE	50
7.6	VRSTVY TÝKAJÚCE SA VLASTNOSTÍ PÔD.....	53
7.7	VRSTVY INFILTRÁCIE.....	55
7.8	ERÓZNO-SEDIMENTAČNÉ VRSTVY	58
7.9	VRSTVY VÝSKYTU ERÓZNYCH RÝH (V RÁMCI LINEÁRNEJ FORMY ERÓZIE).....	60
7.10	ÚDAJE O ZRÁŽKOVEJ EPIZÓDE.....	63
8	SIMULÁCIA POMOCOU MODELU LISEM.....	65
8.1	VÝSLEDKY ANALÝZY.....	65
8.2	POROVNANIE A ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV ANALÝZY V TERÉNE	67
8.2.1	Zhodnotenie výsledkov týkajúcich sa lineárnych foriem erózie	68
9	MODELOVANIE PLYTKÝCH ZOSUVOV.....	71
9.1	SINMAP	72
9.2	TVORBA VSTUPNÝCH VRSTIEV DO MODELU SINMAP	74
9.3	VYHODNOTENIE NÁCHYLNOSTI ÚZEMIA NA PLYTKÉ ZOSUVY	76
9.4	OVERENIE VÝSLEDKOV V TERÉNE	78
	ZÁVER	82
	ZOZNAM INFORMAČNÝCH ZDROJOV	84
	ZOZNAM TABULIEK	87
	ZOZNAM OBRÁZKOV	88
	ZOZNAM PRÍLOH	89

ZOZNAM SKRATIEK

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CHKO	Chránená krajinná oblasť
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEM	Digital Elevation Model
ESRI	Economic and Social Research Institute
GNU	rekurzívna skratka pre „GNU Nie je Unix“ (angl. „GNU's Not Unix“)
GPL	General Public License
LIDAR	Light detection and ranging
LISEM	Limburyng Soil Erosion Model
LAI	Leaf Area Index
OS	operačný systém
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SINMAP	Stability Index Mapping
SV	Strážovské vrchy
S-JTSK	Súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej
VÚPOP	Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy

ÚVOD

Výskum erózie pôdy na Slovensku má viac, ako 50-ročnú tradíciu. Za pomerne dlhé obdobie bolo zhromaždené množstvo poznatkov a údajov o charaktere erózných procesov. Napriek tomu je erózia najväčším pôdodegradačným procesom na Slovensku a jej intenzita a priestorové rozšírenie sú väčšie, ako v nedávnej minulosti. Pestovanie poľnohospodárskych plodín, chov zvierat, lesné hospodárstvo, ale aj ostatné činnosti v krajine sa radia najmä hospodárskymi záujmami a trhovými podmienkami, pričom sa protierózna ochrana pôdy zväčša nezohľadňuje.

V súvislosti s výskumom erózie u nás a v zahraničí sa do popredia dostalo množstvo metodík, postupov a aplikácií, ktoré dokážu eróziu hodnotiť a predpovedať z dlhodobého alebo krátkodobého hľadiska. Tento trend nastal hlavne v druhej polovici minulého storočia. Súviselo to i s paralelne prebiehajúcim výskumom zameraným na vlastnosti a správanie sa erózie v čase a s tým súvisiacimi vlastnosťami pôd.

Na základe týchto poznatkov sa jednotlivé modely spresňovali a spresňujú až do súčasnej doby. Jedným z modelov, ktorý je produktom tohto ľudského snaženia je LISEM. Jedná sa o jeden z prvých zástupcov fyzikálne založených modelov. Jeho funkčnosť spočíva v matematickom popise vzťahov medzi jednotlivými vlastnosťami daného územia. Veľká časť tejto práce sa zameriava práve na tento model. Zameriava sa na postup pri zhotovovaní jednotlivých vstupných vrstiev, potrebných pre analýzu pomocou tohto modelu a následne sa pokúša zhodnotiť výsledok tohto procesu.

V súvislosti s narastajúcim výskytom prívalových zrážok má čoraz väčší význam taktiež zhodnotenie náchylnosti krajiny na plytké zosuvy, ako najkatastrofickejšej formy erózie pôdy. Tá je rozobraná v ďalšej praktickej časti tejto práce. Jedná sa o problematiku, ktorej nie je venovaná taká pozornosť ako v prípade erózie. Na základe analýzy pomocou modelu SINAMP som dospel k pomerne dobrým výsledkom, ktoré sú prezentované v ďalších častiach tejto práce.

Hlavným účelom tejto práce je preskúmanie možností a postupu zhotovovania vstupných vrstiev pre model LISEM. Pre záujemcov, ktorý by s týmto modelom v budúcnosti pracovali, môže táto práca predstavovať významný zdroj užitočných informácií.

1 CIEĽ PRÁCE

Hlavným cieľom mojej práce je analýza územia CHKO Strážovské vrchy použitím zrážkovo-odtokového modelu LISEM, s využitím možnosti modelovania lineárnych foriem erózie. Samotná práca má nasledujúce ciele:

1. V prípravnej fáze tejto práce zhromaždiť dostupnú literatúru z domácich i zahraničných zdrojov, ktorá by mi pomohla zoznámiť sa s problematikou fluviálnej erózie a mohla byť teoreticko-metodologickým východiskom a prostriedkom overovania správnosti zvoleného pracovného postupu.
2. V ďalšej časti tejto práce analyzovať územie pomocou nástrojov GIS a zhotoviť vstupné vrstvy, potrebné pre analýzu pomocou zrážkovo-odtokového modelu LISEM a modelu na výpočet indexu stability, SINMAP. Táto časť projektu patrí medzi najnáročnejšie z dôvodu náročnosti modelu LISEM na vstupné údaje.
3. Ďalším cieľom tejto práce je analyzovať možnosti programových prostriedkov LISEM, PC Raster a SINMAP, ktorý nadväzuje na druhý cieľ a bude uskutočňovaný súbežne.
4. Primárny cieľ je modelovanie plošnej a výmoľovej erózie pomocou spomenutých modelov.
5. Predposledným cieľom práce je zhodnotiť záujmové územie z hľadiska jeho náchylnosti k zosuvom.
6. Posledným cieľom tejto práce je vizualizácia a zhodnotenie výsledkov analýz z použitých modelov.

2 POUŽITÉ ÚDAJE A SOFTVÉR

2.1 Použité údaje

Modelovanie fluviálnej erózie je náročné na vstupné údaje, ktoré pochádzajú z rôznych zdrojov. Medzi najdôležitejšiu a najčastejšie využívanú skupinu údajov patria:

Digitálny výškový model

Medzi základnú skupinu údajov potrebných k zhotoveniu tejto práce patrí digitálny výškový model. Pre potreby modelovania pomocou zrážkovo-odtokového modelu LISEM boli zvektorizované vrstevnice a riečna sieť Zliechovskej doliny z topografických máp základného štátneho mapového diela mierky 1:25 000, s intervalom vrstevníc 10 m. Na základe týchto vrstiev bol zhotovený rastrový, hydrologicky korektný digitálny výškový model Zliechovskej doliny, s priestorovým rozlíšením 10 m.

Pre potreby modelovania plytkých zosuvov pomocou modelu SINMAP bol použitý digitálny výškový model Strážovských vrchov dodaný vedením CHKO Strážovské vrchy, ktorý bol vytvorený z vrstevníc mierky 1:50 000. Priestorové rozlíšenie digitálneho výškového modelu je 25 m a je v súradnicovom systéme S-JTSK.

Vrstva CORINE LAND COVER 2000

Táto vrstva bola použitá pre vymedzenie areálov územia na základe využitia zeme. Túto vrstvu som získal vo vektorovom formáte ESRI Shape File v mierke 1:200 000 od vedenia CHKO Strážovské vrchy.

Vrstva pôdných typov a pôdných druhov

Táto vrstva bola poskytnutá Výskumným ústavom pôdoznalectva a ochrany pôdy v Banskej Bystrici. Jedná sa o vektorovú vrstvu vo formáte ESRI Shape File, v mierke 1:400 000. Tieto údaje boli použité pri modelovaní použitím modelu LISEM i SINMAP. Zohrali dôležitú úlohu pri ohodnocovaní rôznych fyzikálnych vlastností pôd na základe areálov jednotlivých pôdných druhov a pôdných typov.

Údaje o zrážkovej epizóde

Tieto údaje zohrávajú dôležitú úlohu pri modelovaní pomocou modelu LISEM. Jedná sa o presne nameranú zrážkovú epizódu v čo najmenších časových intervaloch. Tieto údaje mi poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav v Banskej Bystrici. Jedná sa o dokument formátu Microsoft Excel a s podrobne nameranými zrážkovými epizódami (rádovo v minútach), zo zrážkomernej stanice vo Valaskej Belej.

2.2 Použitý softvér

V rámci tejto práce som využil nasledovnú skupinu softvéru:

ArcGIS

Jedná sa o integrovanú kolekciu softvérových produktov pre GIS, ktoré poskytujú platformu pre priestorové analýzy, dátový manažment a mapovanie od firmy ESRI. Za účelom vypracovania tejto práce bola použitá verzia ArcGIS 9.3.

LISEM

Jedná sa o voľne stiahnuteľnú aplikáciu fyzikálne založeného zrážkovo-odtokového modelu. Použitá bola verzia 2.56 pre OS Windows.

SINMAP

V tejto práci bola použitá verzia SINAMP 2.0. Jedná sa o bezplatnú extenziu softvérového balíka ArcGis 9.x, redistribuovateľnú za dodržania podmienok licencie GNU GPL vo verzii č. 2.

PCRaster + NutShell

Modelovací jazyk PCRaster je počítačový jazyk určený pre konštrukciu iteračných, časovo-priestorových environmentálnych modelov. Pre podporu práce s týmto jazykom bola použitá aplikácia NutShell. Táto skupina softvéru je použiteľná bezplatne.

3 CHKO STRÁŽOVSKÉ VRCHY

CHKO Strážovské vrchy bola vyhlásená od roku 1989, predovšetkým za účelom zabezpečenia ochrany a optimálneho využívania najzachovalejších častí prírodného prostredia Strážovských a Súľovských vrchov. Oprávnenosť vyhlásenia Súľovských a Strážovských vrchov za veľkoplošné chránené územie potvrdila aj skutočnosť, že práve toto územie bolo zaradené do sústavy chránených území členských krajín Európskej únie tzv. NATURA 2000. Sústavu NATURA 2000 tvoria chránené vtáčie územia, vyhlasované s cieľom ochrany vtáctva a územia európskeho významu s cieľom zabezpečenia ochrany ostatných vzácnych a ohrozených rastlinných a živočíšnych druhov a ich biotopov [25].



Obr. 1: Znak CHKO Strážovské vrchy

Zdroj: [25]

3.1 Vymedzenie územia

Vlastné územie CHKO SV má výmeru 30 979 ha, čím sa radí medzi stredne veľké veľkoplošné chránené územia. Rozprestiera sa v okresoch Považská Bystrica, Ilava, Púchov, Bytča, Žilina a Prievidza. Väčšiu časť, 78% plochy CHKO SV tvorí lesný pôdny fond, 19% poľnohospodársky pôdny fond a zostávajúce 3 % tvoria zastavané a vodné plochy. Územie sa viaže na dve samostatné jednotky v zmysle geomorfologického členenia SR – celky Strážovské vrchy a Súľovské vrchy, preto názov Strážovské vrchy nevystihuje úplné územné vymedzenie, ale bol volený podľa najvyššieho vrcholu dominujúceho celému územiu - Strážova. Zo severozápadu oddeľuje územie CHKO od masívu Javorníkov Považské podolie, na juhu nadväzujú na južnú časť Strážovských vrchov podcelky Trenčianska vrchovina, Nitrické vrchy, Malá Magura a z východu CHKO SV oddeľuje Žilinská kotlina od Malej Fatry [9].



Obr. 2: Schematické vymedzenie záujmového územia v rámci Slovenska

3.2 Členenie, geologický podklad a povrch

Strážovské vrchy sú jadrovým pohorím vnútorných Západných Karpát. Ich dominantou je najvyšší vrch Strážov, ktorý má nadmorskú výšku 1213 m. Od ostatných jadrových pohorí centrálnych Západných Karpát sa odlišujú v tom, že neboli vyvrásnené v jednotný celok – megaantiklinálu, nemajú ústredný chrbát, ale sú rozdelené sústavou kotlín a hlbokých údolí. Nadmorské výšky sa pohybujú v rozpätí 300 – 1213 m. Mapa výškových pomerov CHKO SV je súčasťou mapovej prílohy (mapa č. 4).

Z hľadiska geologického majú Strážovské vrchy mimoriadne pestré zloženie s typickou príkrovovou stavbou. Kryštálické jadro pohoria je malé, odhalené iba v najjužnejšej časti CHKO. Na povrch tu vystupujú granodiority, kremité biotitické pararuly a grafitické ruly. Na kryštalinikum sú v okolí Gápľa viazané hydrotermálne kremenné žily s drobným výskytom olovnatých a zinkových rúd. Z minerálov obsahujú okrem kremeňa, kalcitu, hematitu a sideritu, aj galenit, sfalerit a pyrit. Severný okraj tohto kryštalinika lemuje úzky pruh obalovej malomagurskej jednotky (kremence, bridlice, vápence a dolomity) [11].

Podstatnú časť pohoria tvoria silne zvrásnené a presúvané mezozoické komplexy. Strážovské vrchy vznikli vo vrchnej kriede počas hlavnej horotvornej alpínskej fázy, ktorá bola veľmi silná a vytvorila príkrovovú stavbu. V Strážovských vrchoch máme zachované všetky subatranské príkrovy: krížňanský, chočský a strážovský. Atraktívne skalné dominanty v tejto oblasti tvoria trosky strážovského a chočského príkrovu, ktoré sa

nasunuli na križňanský príkrov. Vyskytujú sa tu jednotky pribradlovej zóny – manínsky príkrov s pribradlovým paleogénom, ktoré zväzujú centrálnu Karpaty s bradlovým pásmom. Hlavnými horninami, ktoré tvoria tieto príkrovy sú sedimentárne (usadené) horniny, predovšetkým vápence a dolomity [11].

Križňanský príkrov je vlastne súborom sedimentárnych sérií, z ktorých sú najcharakteristickejšie séria belianska a zliechovská. V belianskej sérii výrazne prevládajú sedimenty plytkovodnejšie, tzv. kordillierového typu (krinoidové vápence, svetlé organogénne vápence s rohovcami, tmavosivé vápence a dolomity, kremence, pieskovce, bridlice). Zliechovská séria je typom hlbokomorských sedimentov (tmavosivé vápence a slieňovce, bridlice, rohovcové radioláριοvé vápence), ktoré dosahujú značných mocností (až do 500 m).

Chočský príkrov priestorovo zaberá veľkú časť Strážovských vrchov a je plocho uložený na Križňanskom príkrove. Miestami buduje celé horské skupiny (Strážov), inde len trosky ako pozostatky pôvodne súvislého príkrovu. Taktiež je tvorený viacerými sedimentačnými sériami. Čiernovážska séria je budovaná predovšetkým dolomitmi, pre bielovážsku sú charakteristické sivé až tmavosivé vápence s rohovcami, tmavosivé bridlice a slieňovce [11].

Strážovský príkrov tvorí severnú oblasť Strážovských vrchov, priliehajúcu k vnútrokarpatskému paleogénu a tvorí i menšie trosky na chočskom príkrove. Vyznačuje sa prítomnosťou svetlých vápencov tzv. wettersteinského typu.

Keďže prevažná časť Strážovských vrchov je budovaná vápencami, viažu sa k nim aj krasové javy. Máme tu rozsiahle krasové oblasti ako Mojtínsky kras, či kras v okolí Strážova. Stretávame sa s podzemnými ale i povrchovými formami krasu. Z povrchových sa tu vyskytujú krasové jamy, škrapy (možno nájsť na Hrubej Kačke, vrchole Bosmán) a z podzemných jaskyne a priepasti. V Strážovských vrchoch evidujeme cca 200 väčších i menších jaskýň. Väčšina z nich vznikla v druhohorných triasových vápencoch a dolomitoch chočského a strážovského príkrovu (Mojtínska jaskyňa, Veľká Strážovská jaskyňa, Otcova jaskyňa v Sokolí, Horná a Dolná Veterná diera v Ostrej Malenici a iné), niektoré v bradlových jurských a kriedových vápencoch (puklinové priepasti na Strážove, jaskyne v Malom a Veľkom Maníne), ba dokonca aj vo vápnatých zlepencoch (Šarkanica diera v Súľovských skalách, Veľká a Malá Temná jaskyňa pri Zemianskej Závade) [11].

Najznámejším chráneným územím v CHKO Strážovské vrchy je národná prírodná rezervácia Súľovské skaly s rozlohou 463 ha. Leží v orografickom celku Súľovské vrchy. Je tvorená paleogénnymi zlepenkami zloženými z valúnov dolomitu a vápenca. Celé územie charakterizujú lesné spoločenstvá prestúpené bralnatými útvarmi bizarných tvarov (napr. Skalné okno, Gotická brána 13 m vysoká, Obrovská brána, Šarkania diera) [11].

Geologickú stavbu skál tvorí predovšetkým tzv. súľovský zlepenec. Táto hornina vznikla v starších treťohorách (v paleogéne), keď praveká rieka prinášala opracované valúny vápnitých druhohorných hornín (okruhliaky vápencov a dolomitov) a ukladala ich pri vyústení do mora. Súčasti horniny s priemerom 5-10 cm sú spojené vápnitým tmelom. Pozdĺž pruhu zlepenčov sa ojedinele objavujú aj izolované bloky kompaktných vápencov. Sú to druhohorné jadrá kostoleckej jednotky a majú rovnaký charakter ako bradlá Manínov. Zvetrávanie zlepencových skál prebiehalo najintenzívnejšie počas ľadových dôb štvrtohôr. Pôsobením rôznych klimatických činiteľov (zrážky, zmeny teploty – predovšetkým mráz) sa hornina rozrušovala. Takto došlo k typickej modelácii zlepencových skál a vzniku veží, ihiel a otvorov rôznych tvarov a veľkostí [11].

Vežovité útvary sú v Súľovských skalách takmer všade. Ľudská fantázia im dala aj priliehavé mená, ktoré vystihujú ich podobu: Sova a sovička, skalný hríb Smrčok, Mních, Organy, Ťava, Skalné oko a pod. [11].

Národná prírodná rezervácia Strážov má celkovú rozlohu 480 ha. Hlavný vrchol Strážova vo výške 1213 m n. m. je najvyšším bodom Strážovských vrchov. Celý masív Strážova, ktorý pozostáva z piatich vrcholov, na severozápade spadá kolmými skalnými stenami do údolia.

Názorným príkladom jedinečnosti tohto územia je aj národná prírodná rezervácia Manínska tiesňava, s rozlohou 117 ha. Tiesňava je epigenetickým prielomom vytvoreným zarezaním sa Manínskeho potoka v dôsledku poklesávanie jeho eróznej brázdy. Prielom rozdeľuje Manínske bradlo na dve časti: Veľký Manín (891 m n. m.) a Malý Manín (812 m n. m.). Tiesňava je typická vysokými skalnými stenami a divokými bradlovými útvarmi, ktoré spadajú na niektorých miestach priamo do riečišťa potoka. Severovýchodne od Manínskej tiesňavy sa nachádza Kostolecká tiesňava. Vznikla podobne ako Manínska tiesňava epigenetickým zarezaním sa potoka do vápencového bradla Drieňovka, z ktorého oddelila časť nazývanú Kavčia. Tiesňava sa svojou mohutnosťou a zvláštnymi formami podstatne líši od ostatného pohoria. Je aj názornou ukážkou foriem zvetrávania skalných

stien. Ľavý skalnatý svah je bohato členený, skalné formy a útvary sú aj v blízkosti potoka, kým pravý svah tvoria celistvé skalné steny, ktoré sú v strede tiesňavy najviac vzdialené od osi údolia a smerom k okraju sa k nej postupne blížia. Tým sa vytvorila veľká plocha trojuholníkového tvaru, pod ktorou sú mohutné sutinové kužele. Na vrchole trojuholníka vznikol veľký skalný previs, nazývaný tiež “Strecha Slovenska”, pod ním obrovské skalné vráta [9].

3.3 Pôdne pomery

I napriek pretiahnutému tvaru CHKO Strážovské vrchy v severojužnom smere, zastúpenie pôd nie je až tak pestré. Dôvodom je pravdepodobne spoločný geologický základ tohto územia, ktorý sa vyznačuje najmä prevahou karbonátových hornín. Ďalším dôležitým činiteľom ovplyvňujúcim vznik pôdných druhov je výrazná členitosť územia a jeho nadmorská výška, ktorá významnou mierou ovplyvnila tunajšie pôdotvorné procesy.

Dominantným pôdnym typom, vyskytujúcim sa na skúmanom území sú rendziny a kambizeme rendzinové, ktoré vznikli zo zvetralín pevných karbonátových hornín, najmä vápencov a dolomitov, tvoriacich prevažnú časť geologického podkladu. Sprievodným pôdnym typom sú litozeme modálne karbonátové, lokálne aj rendziny sutinové.

Časť severnej časti územia CHKO Strážovské vrchy tvoria kambizeme modálne a kultizeme nasýtené, ktoré vznikli zo zvetralín pieskovcovo ílovcových hornín (flyš) [13].

3.4 Hydrologické pomery

Riečna sieť oblasti v mnohom odráža zložitosť jej morfológického vývoja. Na druhej strane však na viacerých miestach práve erózna sila riek prerazila horninové komplexy a vytvorila zaujímavé povrchové tvary.

Oblasť CHKO SV ohraničujú hlavné toky oblasti. Je to predovšetkým rieka Váh a jej prítok Rajčanka. Vody Rajčanky odvodňujú východné svahy Strážovských i Súľovských vrchov, tečú najskôr na sever a po sútoku s Váhom sa vracajú opäť na juh. Ďalšími významnými prítokmi Váhu, pritekajúcimi zo severozápadných a západných svahov Súľovských a Strážovských vrchov, sú: Hradnianska, odvodňujúca Súľovskú kotlinu a pôsobivým prielomom prerážajúca zlepenčovitú hradbu medzi obcami Súľov a Jablonové, Manínsky potok, ktorý narezal komplex Manínov a Drieňovky a vytvoril

zaujímavé tiesňavy a Domanížanka, ktorá sa v Považskej Bystrici vlieva do Váhu. Južne od Považskej Bystrice je to Pružinka a Slatinský potok zberajúci vody aj z krasového územia pri Mojtíne, Podhradský potok, Porubský potok a Teplička, priberajúca prebytočnú vodu z kúpeľov Trenčianske Teplice. Okrem Rajčanky východné svahy CHKO Strážovských vrchov odvodňuje rieka Nitra. Pramení pri hraniciach s Lúčanskou Fatrou pod Fačkovským sedlom a postupne priberá z pravej strany vody Tužiny, Chvojnice, Nitrice i Bebravy [16].

Vodný režim tokov patrí k stredohorskej oblasti a maximálnymi prietokmi v marci a apríli (obdobie topenia snehu) a minimálnymi prietokmi v zimných mesiacoch.

Geologické prostredie v mnohom ovplyvňuje aj množstvo, typy a výdatnosť prameňov oblasti. V území budovanom kryštalicými horninami je pohyb vôd obmedzený na pukliny zvetralinovej zóny. Preto výdatnosť početných prameňov je pomerne malá. Omnoho väčší význam z hľadiska prameňov majú územia budované druhohornými horninami, najmä vápencami a dolomitmi. Tieto priestory sú významnými infiltračnými územiami, preto sú pramene v týchto oblastiach výdatnejšie. Často tu dochádza aj k reakcií presakujúcich vôd s horninami a k vzniku krasových javov. Mnohé pramene majú krasový charakter. Ani v Súľovských vrchoch, budovaných hlavne treťohornými zlepenkami, nemajú pramene, až na málo výnimiek, väčšiu výdatnosť [16].

Tektonické ohraničenie územia podmienilo na viacerých miestach výstup vôd migrujúcich v hĺbkach Zeme po jednotlivých zlomoch na povrch. Na miestach týchto výverov vznikli aj kúpeľné centrá. Pri Rajeckých Tepliciach vyvierajú pramene s teplotou až 39,58 °C. Obsah v nich rozpustených minerálnych látok je však pomerne nízky. V Bojniciach je známych 8 prameňov, ktorých teplota sa pohybuje od 24,5 do 46 °C. Najvýznamnejšie teplé minerálne pramene v blízkosti CHKO Strážovské vrchy sú v Trenčianskych Tepliciach, kde na báze výskytu týchto sírovodíkových a sadrovcových teplíc vznikli známe kúpele. Je tu 7 prameňov s celkovou výdatnosťou okolo 50 l.s⁻¹. Ich teplota sa pohybuje od 36,6 do 40,28 °C. Pramene získavajú vodu zo širšej oblasti Strážovských vrchov. Podobné pramene sú aj v náplavoch Tepličky a pri Beluškých Slatinách, kde však využívanie nedosiahlo väčšiu intenzitu [16].

3.5 Klimatické pomery

Pomerne veľká rozloha oblasti a jej severojužná orientácia podmieňuje pomerne veľké rozdiely v klimatických podmienkach jednotlivých častí. Severná časť je výrazne teplejšia. Podobne teplé vplyvy sa šíria i kotlinami Považského Podolia. V južnej a juhovýchodnej časti je chladnejšie podnebie, jeho drsnosť sa čiastočne zvyšuje smerom na severovýchod územia CHKO SV. Všeobecne možno povedať, že severná a západná časť oblasti ležia v mierne teplej klimatickej oblasti, veľká časť južnej oblasti a časť severozápadnej oblasti ležia už v chladnej klimatickej oblasti. Priemerná ročná teplota v južnej a západnej časti je 7 až 8 °C, v severnej časti je to okolo 7 °C a vo vyšších hornatinných častiach dosahuje iba 5 °C. Najteplejším mesiacom je júl s priemernými teplotami 15 až 18 °C. Najchladnejším mesiacom je január s priemernými dosahovanými teplotami -3 až -6 °C.

Úhrn zrážok v oblasti je okolo 700 – 1000 mm, pričom najviac zrážok pripadá na jún (100 – 120 mm) a najmenej na február (45 – 59 mm). Počet dní so snehovou pokrývkou sa pohybuje medzi 80 až 120 dňami. Priemerný počet letných dní (dní s teplotou 25 °C a viac) je 20 – 30, v južnejšie položených častiach kotlin aj 50.

Obdobne, ako aj v iných častiach Slovenska, aj tu prevažujú vetry západných a severozápadných smerov. Približne 2/3 dní do roka je oblačnosť, pričom najmenej oblačné dni sa vyskytujú koncom leta a začiatkom jesene. Do roka je tu priemerne 50 jasných dní a 25 - 30 dní s búrkou. Pre niektoré časti kotlin (napr. Žilinská kotlina) je charakteristický jav teplotnej inverzie, keď v kotlinách je drsné, hmľisté počasie s nízkymi teplotami a vo vyšších polohách je jasno a pomerne teplo. Teplotný rozdiel dosahuje často vyše 10 °C [16].

3.6 Flóra

Aby sme pochopili pestrosť rastlínstva Strážovských vrchov, musíme brať do úvahy nielen geologický podklad, ktorý tvoria prevažne vápence a dolomity, ale aj severojužný smer pohoria. Z juhu mohli údolím Váhu prenikať teplomilné druhy, horské druhy mali možnosť prenikať zo severne položenej Fatry. V Strážovských vrchoch je bohatá vápencová flóra.

Z lesných spoločenstiev sú najrozšírenejšie bukové a jedľovo-bukové lesy, ktoré vyrástli na prevažujúcich rendzinách a kambizemiach rendzinových, ktoré majú na tomto území dominantné zastúpenie. Tieto lesné spoločenstvá podstatnou mierou prispievajú k zníženiu rizika pôdnej erózie a tiež lavín a zosuvov.

V závislosti od lokálnych pôdných a mikroklimatických podmienok sú tu zastúpené aj lipovo-javorové sutinové lesy a na skalných biotopoch s plytkou pôdou vzácné spoločenstvá borín. Pôvodné boriny sa udržali na skalách od dávnych dôb ľadových, preto sa nazývajú glaciálnymi reliktnými borinami. V nivách potokov s prevahou fluvizemí sa zachovali zvyšky aluviálnych jelšových lesov.

Celkový ráz dnešných Strážovských vrchov určujú aj trávnaté porasty kosných lúk a pasienkov. Príliš intenzívny spôsob obhospodarovania však spôsobil zníženie druhovej pestrosti väčšiny lúčnych a pasienkových porastov. Zbytky druhovo pestrých porastov, ktoré sa ešte zachovali, sú zase ohrozené zánikom v dôsledku absencie obhospodarovania. Vzhľadom na to, že extenzívne obhospodarovanie je dnes nerentabilné, zostávajú ležať ladom, zarastajú postupne kríkmi alebo sa zalesňujú. Ich zachovanie je však závislé od trvalého extenzívneho využívania.

4 PROBLEMATIKA MODELOVANIA ERÓZIE

4.1 Pojem erózia a jej triedenie podľa činiteľa

Slovo „erózia“ je latinského pôvodu a je odvodené od slova „erodere“ – rozhlodávať. V najširšom zmysle slova pod pojmom erózia rozumieme rozrušovanie litosféry, resp. pedosféry pohybujúcou sa hmotou erogénneho pôvodu. V súčasnej dobe sa erózia definuje ako komplexný proces, zahŕňajúci rozrušovanie pôdneho povrchu, transport a ukladanie uvoľnených pôdných častíc pôsobením vody, vetra, ľadu a iných tzv. erózných činiteľov [7].

Pôsobením erózie sa zemský povrch na jednej strane znižuje – degraduje, na druhej strane sa hromadením a usadených hmôt zvyšuje – agraduje. Výsledkom tohto je zarovnávanie zemského povrchu – planácia. Podmienkou planačného procesu je, aby hmoty vyvýšených častí zemského povrchu boli rozpojiteľné. Túto podmienku zaisťuje zvetrávanie hornín [7].

Podľa Zachara (1970), medzi erózne činitele počítame: vodu, ľad (ľadovec), sneh, vzduch (vietor), organizmy a človeka. V nasledovnej časti tejto práce sa budem zaoberať eróziou vyvolanou pôsobením vody.

4.2 Vodná erózia

Do vodnej erózie sa počíta rozrušovanie zemského povrchu dažďovými kvapkami, roncom (svahovým odtokom), riečnou, podzemnou a stojatou vodou.

Z hľadiska našej práce sa budeme zaoberať na účinky vodnej erózie spôsobenej dažďovými kvapkami a nasledovným povrchovým odtokom.

Podľa Zachara (1970), pod rozrušovaním dažďovými a snehovými vodami, prípadne krúpami, rozumieme eróziu zrážkovú, čiže pluviálnu (z lat. pluvis = dažďový). Druhou fázou erózneho pôsobenia zrážkovej vody (snehovej i dažďovej) je erózia spôsobená po svahu povrchove odtekajúcou vodou, súborne nazývaná roncom. V slovenčine a v češtine sa táto erózia nazýva ronová. Ďalej do vodnej erózie možno počítať eróziu riečnu čiže fluviálnu (z lat. fluvius = rieka, tok, prúd).

4.3 Triedenie erózie podľa formy

Formy erózie sú odvodené z pôsobenia erózných činiteľov na pôdnom povrchu – erózia povrchová a pod pôdnym povrchom – erózia podpovrchová. Povrchová vodná erózia môže byť podľa účinkov vody na pôdny povrch:

- plošná
- výmoľová
- prúdová

4.3.1 Plošná erózia

Plošná vodná erózia je charakterizovaná rozrušovaním a zmyvom pôdnej hmoty na celej ploche územia.

Jej prvým stupňom je erózia selektívna, pri ktorej povrchový odtok odnáša jemné pôdne častice a na ne viazané chemické látky. Dochádza k zmene pôdnej textúry a obsahu živín v pôde. Pôdy podliehajúce selektívnej erózií sa stávajú hrubozrnnejšími a majú výrazne znížený obsah živín, pôdy obohatené zmyvom sú jemnozrnnejšie a bohaté na živiny [6].

Selektívna erózia prebieha zvolna, často nepozorovane a nezanecháva viditeľné stopy. Možno ju zistiť z jemného materiálu akumulovaného v dolných častiach svahu po prívateľnom daždi. Často sú jemným materiálom zanesené priekopy i komunikácie.

Selektívna plošná vodná erózia spôsobuje nerovnomerný vývoj vegetácie, prejavujúci sa rozdielnym rastom, rozdielnou farbou a kvalitou v častiach svahu, v ktorých došlo ku zmyvu jemných pôdnych častíc a živín a v dolnej časti svahu, kde došlo k akumuláciám zmytého materiálu [6].

4.3.2 Lineárne formy erózie

Výmoľová vodná erózia vzniká postupným sústred'ovaním povrchovo stekajúcej vody, ktorá vyrýva v pôdnom povrchu plytké zárezy, postupne sa prehľbujúce. Prvým štádiom výmoľovej erózie je erózia stružková a brázdová. Pri stružkovej erózií vznikajú v pôdnom povrchu drobné úzke zárezy, ktoré vytvárajú na postihnutom svahu hustú sieť.

Brázdová erózia sa vyznačuje plytkými širšími zárezmi, ktorých hustota na svahu je menšia ako u erózie stružkovej.

Vzhľadom k tomu, že stružková a brázdová erózia postihujú obvykle veľkú časť povrchu svahu, ktorý rozrušujú na celej ploche, označuje sa často táto erózia ako najvyšší stupeň plošnej erózie. Pri väčšom sústreďení vody a postupnom prehĺbovaní stružiek vznikajú erózne ryhy rôznych veľkostí a tvarov. Podľa tvaru priečneho profilu možno rozoznávať ryhy ploché, úzke, široké a oblé [6].

Zo stružiek a brázd vznikajú pokračujúcim sústreďovaním povrchovo stekajúcej vody hlbšie ryhy, ktoré sa smerom po svahu postupne spájajú a prehlbujú, sú výsledkom ryhovej erózie. Ryhová erózia prechádza na vyšší stupeň – eróziu výmoľovú a tá na nebezpečnú, územie devastujúcu stržovú eróziu [6].

Výsledkom výmoľovej a stržovej erózie sú hlboké výmole a strže. Pokiaľ sú v postihnutom území podorníčné pôdne vrstvy a hlavne pokiaľ je geologické podložie odolnejšie proti účinkom vody než vrchné vrstvy, vznikajú výmole a strže s priečnym profilom v tvare písmena V s rôznym sklonom svahov. Pri rovnako odolných vrstvách v celom profile, napr. v aluviálnych hlinách alebo v mocných sprašových naviatinách, vznikajú výmole a strže s priamymi až zvislými stenami s priečnym profilom v tvare písmena U. Voda pritekajúca do výmoľu a strže tvorí často vodopád, ktorý svojou výmoľovou činnosťou predlžuje výmoľ alebo strž proti sklonu. Táto forma erózie sa nazýva erózia vodopádová [6].

Pri zrovnaní s trvalými vodnými korytami, ktoré majú pomerne mierny a rovnomerný pozdĺžny profil, sú výmole a strže charakterizované výrazným záhlavím a náhlými zmenami sklonu. Sú tiež obvykle hlbšie a užšie a voda v nich nesie veľké množstvo splavenín, majú nepravidelné prietokové pomery, takže vzťah medzi prietokom splavenín a prietokom vody nie je jednoznačný.

Podľa Janečka (2002), ani dokonale urovnaný povrch nemôže zabrániť sústreďovaniu vody na svahu do stružiek a preto sa dá plošná erózia ťažko oddeliť od stružkovej.

4.4 Prípustná medza erózie

Erózia by mala prebiehať iba v takej intenzite, aby spôsobená strata pôdy bola nahradená prirodzenou tvorbou novej. Ďalšou požiadavkou je, aby transport chemických

látok prebiehajúci vplyvom erózných procesov nespôsoboval znečistenie vodných zdrojov nad povolenú medzu (tá je určená pre rôzne druhy použitia vody príslušnými smernicami), aby nedochádzalo k nežiaducemu zanášaniu nádrží, vodných tokov a kanálov a aby sa obmedzili na prijateľnú mieru škody spôsobené veternou eróziou.

Podľa údajov zo zahraničných zdrojov, napr. od R. P. C. Morgana, možno vzhľadom k poľnohospodárskej produkcii pripustiť ročnú stratu pôdy (tzv. toleranciu straty pôdy) na 11 t/ha ako maximálnu hodnotu, nižšie hodnoty od 2 do 5 t/ha sú doporučené pre územie s malou mocnosťou ľahko erodovateľných pôd. Uvedené hodnoty, ktoré môžeme považovať za smerodajné, nemusia vyhovovať v územiach s intenzívnymi eróznymi procesmi, najmä v horských oblastiach s vysokými zrážkami [6].

4.5 Erózne činitele a mechanizmus ich pôsobenia

Erózne procesy vznikajú interaktívnym pôsobením prírodných a antropogénnych činiteľov, ktoré ju vyvolávajú a ovplyvňujú. Najvýznamnejšími činiteľmi sú:

- zrážky a z nich vznikajúci odtok,
- vietor,
- morfológia územia,
- geologické a pôdne pomery,
- vegetačný kryt pôdy,
- spôsob využívania pôdy.

Pre vznik a priebeh procesov vodnej erózie je rozhodujúce priame pôsobenie dažďových kvapiek na pôdny povrch a ich vplyv na formovanie a priebeh povrchového odtoku.

Pôsobenie dažďových kvapiek na pôdny povrch je dané kinetickou energiou. Tá je príčinou porušovania pôdnych agregátov a uvoľňovania pôdnych častíc, ktoré môžu byť premiestnené na vzdialenosť až niekoľko centimetrov [6].

Z uvedeného je zrejmé, že pri vyšetrovaní erózných procesov sú rozhodujúce prívalové zrážky. Je to spôsobené ich vysokou intenzitou, ktorých dôsledkom je deštruktívny vplyv kinetickej energie dažďových kvapiek na povrch pôdy a rýchle formovanie povrchového odtoku [6].



Obr. 3: Dopad dažďovej kvapky na pôdu Zdroj: <http://plantandsoil.unl.edu>

Jednotná definícia prívalového dažďa sa v literatúre neuvádza. Pokus o definíciu prívalových dažďov sa pokúsil L. S. Berg. Za prívalové dažde považuje tie, ktorých priemerná intenzita a celková výška pri určitej dobe trvania je vyššia ako hodnoty uvedené v nasledujúcej tabuľke [6].

Tab.1: Minimálne hodnoty prívalových dažďov podľa L. S. Berga

Trvanie [min]	5	10	15	20	25	30	40
Hs [mm]	2,5	3,8	5,0	6,0	7,0	8,0	9,6
i [mm/min]	0,50	0,38	0,33	0,30	0,27	0,27	0,24

Trvanie [min]	45	50	60	120	240	720	1440
Hs [mm]	10,25	11	12	18	27	45	60
i [mm/min]	0,23	0,22	0,20	0,15	0,11	0,06	0,04

Zdroj: [6]

V priebehu dažďa jeho intenzita kolíše. Spočiatku je obvykle malá, rýchlo sa zvyšuje do maxima a ku koncu dažďa opäť klesá. Ak sa intenzita dažďa zväčší po dočasnom poklese, označuje sa dažď ako dvojnásobný, trojnásobný atď. Prívalové dažde sa vyskytujú najviac trojnásobné.

Erózný účinok zrážok je daný ich kinetickou energiou. Niekedy býva označovaný ako index erozivity (Ed). Je funkciou intenzity dažďa, jeho trvania a hmotnosti, priemeru a rýchlosti dopadu vodných kvapiek.

Z pevných zrážok majú pre erózne procesy význam snehové zrážky, pretože snehová pokrývka dáva pri jarnom topení v niektorých prípadoch značný povrchový odtok. Odtok zo snehových zrážok je závislý na fyzikálnych charakteristikách snehu a na výške rozloženia snehovej pokrývky [6].

4.5.1 Odtok z kvapalných zrážok

Za plošný odtok pokladáme odtok prebiehajúci po povrchu územia v súvislej vrstve vody o približne rovnakej hĺbke v jednotlivých priečných profiloch svahu, alebo vo forme rozptýlených stružiek v nezreteľných odtokových dráhach. Odtok po povrchu pôdy býva narušovaný rôznymi prekážkami (väčšie kamene, chumáče trávy, kroviny a pod.), čo má za následok prerušenie súvislej vrstvy vody [6].

Pre intenzitu erózných procesov je vo väčšine prípadov rozhodujúci odtok z privalových dažďov. Privalové dažde, charakterizované vysokou intenzitou a krátkou dobou trvania, vyvolávajú maximálny odtok na malých (30 až 250 km²) a veľmi malých povodiach (1 až 5 km²). Na veľkých povodiach sú maximálne odtoky vyvolané prevažne topením snehu (veľký jarný odtok), prípadne kombináciou s dažďom [6].

4.5.2 Morfológia územia

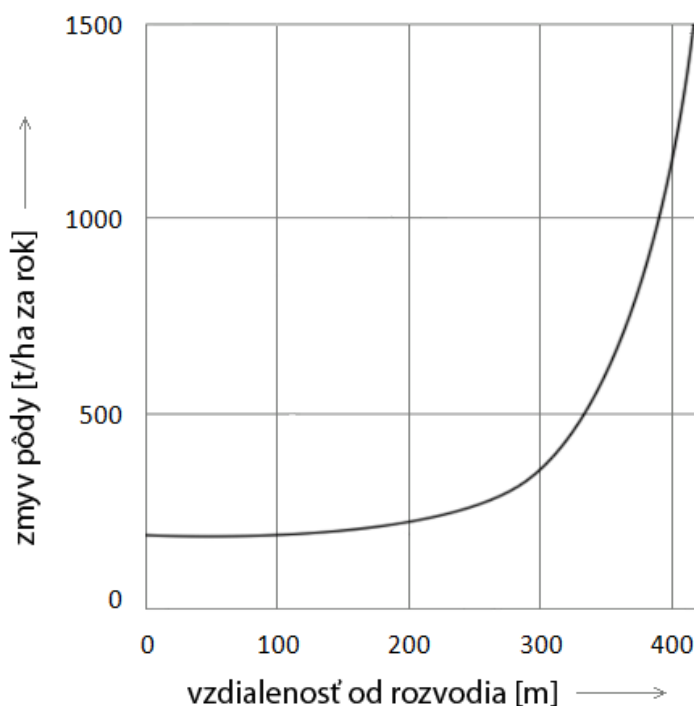
Vodná erózia je podmienená povrchovým odtokom vody po sklonenom území. Stekajúca voda naberá so zväčšovaním sklonu a dĺžky svahu, za predpokladu trvania dažďa, vyššiu rýchlosť a tangenciálne napätie a tým i väčší deštrukčný účinok na pôdny povrch a schopnosť transportovať uvoľnené pôdne častice. Intenzita erózných procesov sa obvykle znižuje so zmenšovaním sklonu, až dôjde k poklesu rýchlosti a tangenciálneho napätia do tej miery, že nastane usadzovanie pôdnych častíc transportovaných po povrchu územia. Z priebehu erózných procesov vyplýva, že vodnou eróziou sú najviac postihnuté oblasti s členitým reliéfom, ktorý napomáha sústreďovaniu povrchovo stekajúcej vody a rýchlejšiemu odtoku [6].

Morfológia územia má vplyv i na veternú eróziu, na ktorej intenzitu pôsobí i expozícia územia voči prevládajúcim vetrom a forma reliéfu územia.

Jedným z rozhodujúcich erózných činiteľov je sklon a dĺžka svahu. Jeho vplyv na vznik a priebeh erózných procesov môže byť ostatnými činiteľmi, napr. pôdnymi

vlastnosťami alebo vegetačným krytom pôdy zoslabený, nikdy však úplne potlačený. Preukázaný rozhodujúci vplyv sklonu svahu na vznik a priebeh erózných procesov viedol k určeniu tzv. kritického sklonu svahu, pod ktorým sa obvykle rozumie sklon, pri ktorom dochádza k nebezpečnému rozrušovaniu pôdneho povrchu. Tento sklon dosahuje podľa zahraničnej literatúry 1 až 7° v závislosti od odolnosti danej pôdy [6].

Pri konštantnom sklone a nezmenených ostatných podmienkach dochádza pri daždi, ktorý trvá dlhšie než doba, za ktorú dospeje vodná častica od rozvodia k úpätiu svahu, s predlžovaním tejto doby k zväčšovaniu množstva povrchovo stekajúcej vody i jej rýchlosti a tangenciálneho napätia, čo vedie i k rastu erózneho procesu. Vzťahom medzi dĺžkou svahu a intenzitou erózneho procesu sa zaoberalo mnoho autorov. Jedným z nich bol A. S. Kozmenko, ktorého vzťah môžeme vidieť na nasledovnom obrázku [6].



Obr. 4: Vzťah medzi dĺžkou svahu a zmyvom pôdy podľa A. S. Kozmenka Zdroj: [6]

Prudký zlom krivky zmyvu na obr. 4 je možné vysvetliť prechodom plošnej erózie na výmoľovú pri väčšom sústreďení povrchovej stekajúcej vody. K podobným výsledkom dospelo aj mnoho ďalších autorov zaoberajúcich sa touto problematikou.

Na intenzitu a priebeh erózných procesov má vplyv i tvar svahu. Svahy delíme na vypuklé, vyduté, priame a kombinované. Uvedené rozdelenie umožňuje sledovať odlišný priebeh erózných procesov, pretože sklon, ktorý je prevládajúcim eróznym činiteľom,

dosahuje na jednotlivých typoch svahu maximálnych hodnôt v rôznej vzdialenosti od rozvodia, s výnimkou priamych svahov. Maximálny účinok erózných procesov sa prejaví v tých miestach svahu, kde je sklon a vzdialenosť od rozvodia v najnepriaznivejšom pomere. Zo zrovnania intenzity erózných procesov na jednotlivých svahoch vyplýva, že najvyššiu intenzitu majú tieto procesy na svahoch vypuklého tvaru a najnižšiu na svahoch vydutého tvaru [6].

Expozícia svahov je daná ich umiestnením vzhľadom ku svetovým stranám. Slnecná expozícia na južných a západných svahoch je príčinou rýchleho topenia snehu pri zmenách denných a nočných teplôt. Dôsledkom je väčší povrchový odtok z topiaceho sa snehu, vymrzanie vegetácie a intenzívnejšie rozrušovanie pôdneho substrátu. V podmienkach Slovenskej republiky však tento faktor netreba preceňovať. Expozícia svahu v porovnaní s ostatnými činiteľmi nemá taký vplyv, ako v niektorých iných, hlavne mimoeurópskych krajinách, kde sa rozdielne pomery na južných a severných svahoch prejavujú omnoho výraznejšie [6].

4.5.3 Geologické a pôdne pomery

Geologické pomery územia a vlastnosti pôdy majú vplyv na odolnosť pôdy voči erózií a tým na intenzitu erózných procesov. Pôsobenie geologických pomerov na vznik erózie a jej priebeh môžeme rozdeliť na priame a nepriame.

Pri priamom pôsobení geologických pomerov na priebeh a vznik erózie sa uplatňuje odolnosťou obnaženého geologického podkladu, ktorý je vystavený priamemu styku s tečúcou vodou a ovzduším. Tento vplyv sa prejavuje najmä na tých miestach, kde ľahko zvetrávajúca podložná hornina vystupuje tesne k povrchu a tým pádom je obnažená rôznymi formami výmoľovej vodnej alebo inej erózie. To má za následok zvýšenú rýchlosť rozrušovania horniny v daných miestach. Za týchto podmienok dochádza ku vzniku rýh, výmoľov, strží, ktoré sa postupne prehľbujú. Tento jav je pomerne významný na ľahko zvetrávaných zlepenkoch, pieskovcoch a bridliciach [6].

Nepriamy vplyv geologického podkladu je závislý od vlastností pôdotvorného substrátu. Ten ovplyvňuje niektoré vlastnosti pôd, týkajúce sa jej štruktúry a obsahu minerálov a chemických látok, ktoré s organickou zložkou usmerňujú pôdotvorné procesy. Takéto pôdy majú následne rôznu odolnosť voči pôsobeniu povrchovo tečúcej vode a vetru [6].

Rôzne literatúry uvádzajú, že pomerne priaznivé podmienky na tvorbu pôd vzhľadom k ich odolnosti voči eróziám sú v dolomitických a vápencových územiach. Horšie podmienky sú na území starších vyvrenín, ďalej na územiach so sedimentmi, obzvlášť na piesčitých, hlinitých a ílovitých slieňoch. Veľmi nepriaznivé podmienky sú na územiach budovaných flyšom (ktorým je budovaná významná časť nášho záujmového územia) a sprašovými usadeninami [6].

4.5.4 Vegetačný kryt pôdy

Vegetácia má veľký vplyv na priebeh a intenzitu erózných procesov. Jej význam spočíva v ochrane pôdneho povrchu pred priamym dopadom dažďových kvapiek a pred pôsobením vetra. Ďalším významom je podpora vsakovania dažďovej vody, spomaľovanie povrchového odtoku a zlepšovanie fyzikálnych, biologických a chemických vlastností pôdy. Veľmi významné je aj spevňovanie pôdy koreňovým systémom vegetácie.

Ochrana pôdneho povrchu pred priamym dopadom dažďových kvapiek spočíva v jej zachytení nadzemnými časťami vegetácie. Dochádza k útlmu energie vodných kvapiek, ktorá dosahuje značných hodnôt najmä pri silných prívalových dažďoch. Odrazom dažďových kvapiek od nadzemných častí vegetácie a ich postupným stekaním na pôdny povrch dochádza k predĺženiu dopadu zrážkovej vody na pôdu. Toto časové zdržanie v kombinácii so zmenšením rýchlosti povrchovo stekajúcej vody, spôsobené zväčšením drsnosti pôdneho povrchu nadzemnými časťami vegetácie podporuje vsakovanie vody do pôdy. To má za následok znižovanie povrchového odtoku. Zlepšenie vsakovania je spôsobené i zlepšením pôdných vlastností vegetáciou, pretože tá obohacuje pôdu o organické látky a dusík. Tým spôsobuje pohyb niektorých látok dôležitých pre priaznivé vlastnosti pôd z hlbších vrstiev k povrchu pôdy, prevzdušňuje ju a vyvoláva zvýšenú mikrobiotickú činnosť. Ďalšou významnou vlastnosťou vegetačného krytu je znižovanie výparu vody z pôdy a zabezpečovanie jej priaznivej vlhkosti. Tieto priaznivé účinky dopĺňa priame mechanické spevnenie pôdy koreňovým systémom vegetácie. Dôležitá je hustota koreňového systému a hĺbka dosahu jeho hlavnej časti v pôdnom profile [6].

Lesný porast s hustými korunami stromov, dobrým stavom podrastu a neporušenou vrstvou hrabanky vykazuje najvýraznejší vplyv na utváranie povrchového odtoku, a tým i na intenzitu a priebeh erózie [12]. Povrchový odtok zo zalesnenej pôdy nepresahuje

spravidla 10 % zrážkového množstva vody. Preto lesné pôdy kryté zdravým lesným porastom tak netrpia vodnou eróziou. Podľa Benneta (1955) má dobre vyvinutý trávny porast podobný priaznivý vplyv na veľkosť a priebeh povrchového odtoku a na ochranu pôdneho povrchu ako lesný porast. Zistil, že povrchový odtok z pozemkov chránených dobrým trávnym krytom činil 0 až 5,5 % zrážkového množstva a zmyv 0,029 až 0,132 t . ha⁻¹, zatiaľ čo zo zalesnenej plochy za rovnakých podmienok nameral odtok v hodnote 0,1 až 3,6 % zrážkového množstva a zmyv 0,005 až 0,193 t . ha⁻¹. To znamená, že sa neprejavil veľký rozdiel medzi účinnosťou lesného a trávneho krytu.

Všeobecne sa uznáva, že les je najdokonalejším pôdoochranným prostriedkom a používa sa ako účinný stabilizačný prostriedok i v tých prípadoch, kde ostatné opatrenia zlyhali. I napriek tomu sa aj na lesných pôdach môžu vyskytnúť erózne javy znehodnocujúce pôdu. Ide najmä o poškodzovanie pôdy spôsobené ťažbou, približovaním a odvozom dreva, pasením dobytka a vodnou eróziou. V niektorých prípadoch môže byť erózia spojená s pôdotokom, zosuvmi a vnútrópodným vyplavovaním. Nakoniec sa pôda môže poškodzovať vývratmi. K jednotlivým druhom a formám poškodzovania lesných pôd nebola v literatúre vypracovaná žiadna metodika a žiaľ, ani dostatok údajov na to, aby sa erodované lesné pôdy triedili [18].

Naopak nízky stupeň protieróznej ochrany poskytujú poľné kultúry, čo je spôsobené pomerne malou listovou plochou pripadajúcou na plošnú jednotku pôdy, obvykle menším vzrastom nadzemných častí v prevažnej časti roku (sú to väčšinou kultúry jednoročné) a menším rozsahom koreňového systému [6].

4.6 Triedenie erózie podľa intenzity

Eróziu je možné triediť i podľa jej intenzity. Čím je pôda skeletnatejšia, tým rýchlejšie klesá intenzita pôdnej erózie. Intenzita plošnej, vodnej a veternej erózie sa spravidla vyjadruje stratou, resp. odnosom pôdy v mm, t . ha⁻¹, popr. m³ . ha⁻¹ za určité časové obdobie, spravidla za jeden rok. Intenzitu ryhovej erózie je možné vyjadrovať dĺžkou, resp. hustotou rýh v km . km⁻².

O klasifikáciu intenzity erózie sa zaujímalo mnoho autorov. Zachar (1970) odporúča klasifikovať škodlivosť erózie podľa intenzity odnosu (tabuľka č. 2)

Tab. 2: Klasifikácia škodlivosti plošnej erózie podľa intenzity odnosu

Stupeň	Intenzita odnosu pôdy eróziou [$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]	Intenzita odnosu pôdy eróziou [$\text{mm} \cdot \text{rok}^{-1}$]	Hodnotenie erózie
1	do 0,5	do 0,05	nepatrná
2	0,5 - 5	0,05 - 0,5	slabá
3	5 - 15	0,5 - 1,5	stredná
4	15 - 50	1,5 - 5,0	silná
5	50 - 200	5,0 - 20,0	veľmi silná
6	nad 200	nad 20,0	katastrofálna

Zdroj: [18]

Pri ryhovej erózii by bolo nesprávne intenzitu vyjadriť len podľa množstva odnesenej pôdy prepočítanej na ha. Erózna ryha znamená bez špeciálnych opatrení spravidla trvalú stratu pôdy. Preto je treba zabrániť akémukoľvek lineárnemu vymieľaniu pôdy. Z tohto hľadiska všetky aktívne formy ryhovej erózie zaradujeme do erózie malígnej (škodlivej, zhubnej) [18].

Triedenie intenzity ryhovej erózie podľa ich hustoty navrhli pre naše pomery Bučko a Mazúrová (1958) v práci o výmoľovej erózií na Slovensku. Autori po zovšeobecnení údajov o hustote rýh na území Slovenska rozdelili frekvenčnú krivku výskytu dĺžok rýh na 1 km^2 do 6-stupňovej škály podľa nasledovnej tabuľky. Z praktických dôvodov sa za škodlivú považuje 2. a vyšší stupeň [18].

I keď hustota erózných rýh je vcelku výstižným ukazovateľom intenzity lineárnej erózie pôdy, nevystihuje jej súčasnú aktivitu. Z tohto pohľadu je možné vyjadrovať a hodnotiť eróziu z hľadiska rýchlosti rastu erózných rýh v $\text{m} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Tab. 3: Triedenie intenzity ryhovej erózie podľa dĺžky erózných rýh

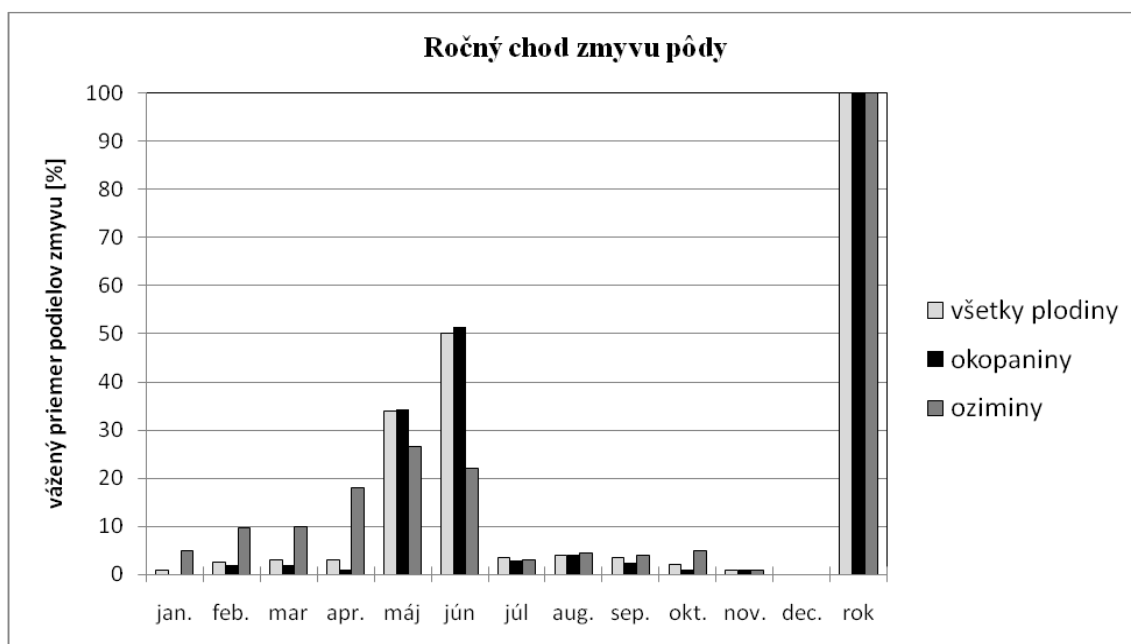
Stupeň	Dĺžka erózných rýh [km.km ⁻²]	Hodnotenie erózie
1	pod 0,1	nepatrná
2	0,1 - 0,5	slabá
3	0,5 - 1,0	stredná
4	1,0 - 2,0	silná
5	2,0 - 3,0	veľmi silná
6	nad 3,0	výnimočná

Zdroj: [3]

4.7 Ročný chod erózie

Pre navrhovanie protieróznych opatrení majú veľký význam údaje o rozdelení erózie počas roka. Rôzne poľnohospodárske plodiny sa líšia svojou protieróznou účinnosťou v jednotlivých ročných obdobiach. Sústreďenie erózie do jednotlivých ročných období preto ovplyvňuje využiteľnosť ich pôdoochranného potenciálu [5].

Ročný chod odnosu sa výrazne odlišuje pod jednotlivými plodinami. Bol vyhodnotený samostatne pre stanovištia s oziminami (ozimné obilniny a repka olejná) a okopaninami (kukurica, slnečnica a cukrová repa).



Obr. 5: Ročný chod zmyvu pôdy Zdroj: [5]

Keďže pozorovacie obdobia z rokov 1994 - 95 neboli rovnako dlhé v závislosti od miestnych podmienok, boli hodnoty za jednotlivé mesiace spracované váženým priemerom. Pod okopaninami sa veľká väčšina zmyvu sústreďuje do jarných mesiacov – máj a jún, čo spolu predstavuje 85,7 % ročného zmyvu. Zvyšné mesiace sa na zmyve podieľajú iba nepatrne. Na grafe môžeme vidieť, že v prípade ozimín je zmyv rozložený rovnomernejšie. Väčšina zmyvu je aj tu v jarných mesiacoch, ale začína už od skorej jari. Táto vyrovnanosť ročného chodu je spôsobená tým, že v hlavnom období dažďov je porast ozimín veľmi hustý a tak sa zmyv v tomto období nezvyšuje tak výrazne [5].

Podľa Fulajtára (2001) boli nové hodnoty, merané v roku 1996 dosť výrazne odlišné od predchádzajúcich meraní z rokov 1994 – 95. V tomto období bolo 70 % zmyvu sústredené do júna, v máji obsahoval iba 5 % a v apríli bol vyšší ako v máji (12 %). Letné hodnoty boli extrémne nízke. Podľa Fulajtára (2001) však možno s istotou povedať, že zmyv sa sústreďuje do neskorej jari a skorého leta (máj, jún) [5].

5 MODELOVANIE ERÓZNYCH PROCESOV

V období posledných 15 rokov sa v značnej miere rozvinulo modelovanie erózných procesov. Spočiatku boli založené na definovaní erózných činiteľov a na určení ich vplyvu na erózne procesy pri použití výsledkov pozorovaní, meraní, experimentov a štatistických metód. Ako uvádza Holý (1994), boli prevažne zamerané na zisťovanie alebo prognózu straty pôdy. V súčasnej dobe sa zvýšila potreba hlbšej analýzy erózných procesov, najmä pokiaľ ide o rozdelenie procesu na fázu uvoľnenia pôdných častíc a chemických látok a na fázu ich transportu a akumuláciu.

5.1 Triedenie erózných procesov

Účel, pre ktorý má model slúžiť, určuje spôsob, akým treba k modelovaniu pristupovať. Dôležité je, či sa požaduje kvantifikácia erózných procesov, alebo ich prognóza, ďalej v akom časovom horizonte sa prognóza vyžaduje. Tiež musí byť určená mierka modelovania. Podľa Fulajtára a Janského (2001) možno jednotlivé modely rozdeliť do viacerých typov.

- Fyzikálno-technické – sú to zmenšené modely, obyčajne vytvorené v laboratóriu, vyžadujú dynamické merítka modelu voči skutočnosti.
- Analógové – používajú mechanické, alebo elektrické systémy, umožňujúce analógiu vzhľadom k skúmaným systémom, napríklad tok elektrického prúdu simuluje tok vody.
- Digitálne – sú založené na použití počítačov, aby bolo možné spracovať veľké množstvo údajov. Podľa stupňa exaktnosti rozoznávame tri typy:
 1. Fyzikálno-matematické – sú založené na matematických rovniciach. Popisujú procesy zahrnuté do modelu, pričom berú do úvahy zákony o zachovaní hmoty a pohybu.
 2. Stochastické – sú založené na generovaní syntetických sekvencií údajov získaných zo štatistických charakteristík existujúcich vzoriek údajov potrebných pre generovanie vstupných sekvencií pre fyzikálne podložené, alebo empirické modely, kde sú k dispozícii údaje (len pre krátke obdobie pozorovania).

3. Empirické – sú založené na báze identifikácie štatisticky významných vzťahov medzi premennými pri existencii dostatočnej údajovej základne.

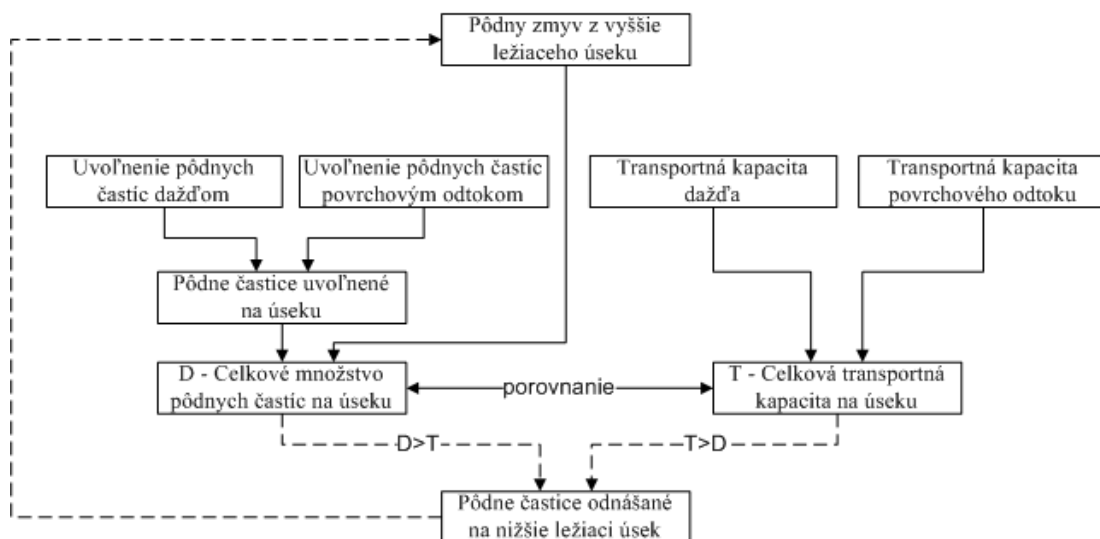
Podľa komplexnosti vyjadrenia štruktúry procesov rozoznávame tri typy:

- Čierna skrinka – študované sú len hlavné vstupy a výstupy,
- Šedá skrinka – čiastočne je známe vnútorné fungovanie systému,
- Biela skrinka – známe je celé vnútorné fungovanie systému.

5.2 Fyzikálno-matematické modely

Fyzikálne podložené modely erózneho procesu sú založené na matematickom vyjadrení procesu odtoku vody, obvykle na zákonoch o zachovaní hmoty a hybnosti. Z nich odvodzujú rovnicu kontinuity a pohybovú rovnicu. Podľa Janečka (2002) základy fyzikálneho princípu vodnej erózie položil významný americký erodológ W. D. Ellison, ktorý definoval jednotlivé dielčie procesy vodnej erózie a previedol ich podrobnú analýzu. Podľa Ellisona možno erózny proces rozdeliť na 4 dielčie procesy.

- uvoľnenie pôdných častíc dažďom
- premiestnenie pôdných častíc dažďom
- uvoľnenie pôdných častíc povrchovým odtokom
- transport pôdných častíc povrchovým odtokom



Obr. 6: Schéma modelu erózneho procesu podľa Meyera a Wischmeiera

Zdroj: [7]

Podľa Janečka (2002) tieto fyzikálne princípy použili Meyer a Wischmeier k zostaveniu prvého jednoduchého simulačného modelu erózie na svahu. Toto riešenie umožňuje pre dané morfologické, pôdne a vegetačné podmienky a pri danom spôsobe využitia pôdy určovať odnos, resp. ukladanie pôdných častíc vo zvolených profiloch vyšetrovaného miesta (či už sa jedná o jednotlivý svah alebo povodie) a vo zvolených časových krokoch porovnávať celkové množstvo uvoľnených pôdných častíc a transportnú schopnosť dažďa a povrchového odtoku.

Podľa rozdelenia erózneho procesu do uvedených fáz zostavili L. D. Meyer a W. H. Wischmeier model, ktorý je prechodom medzi empirickými a konceptuálnymi modelmi. Dynamiku štyroch fáz erózneho procesu vyjadrili základnými vzťahmi, ktoré doplnili empirickými vzťahmi, ktorými postihli hlavne pôsobenie vlastností pôdy na erózny proces. Vyšetrovaný svah rozdelili na úseky, na ktorých určovali dielčie výsledky erózneho procesu porovnávaním transportnej kapacity dažďa a povrchového odtoku s množstvom uvoľnených a transportovaných pôdných častíc [6].

6 LISEM

V súvislosti s intenzívnym poľnohospodárskym využitím pôdy v kopcovitom území nastal často problém s pôdnou eróziou a povrchovým odtokom. Tieto problémy súvisia s pôdnymi pomermi a geológiou územia. Príkladom je kopcovitý kraj južného Limburgu (Holandsko), kde pôdy vzniknuté na spraši sú obzvlášť citlivé na povrchový odtok a pôdnou eróziu. Ako náhle začali ľudia ničiť lesy a obhospodarovat krajinu, procesy pôdnej erózie zapríčinili vznik charakteristických foriem terénu - suchých žľabov (dry valleys) a vrezaných ciest [14].

Donedávna tradičné praktiky využitia zeme by mohli udržať pôdnou eróziu a povrchový odtok na akceptovateľnej úrovni. Počas posledných dvoch dekád však expanzia mestských území, zväčšená plocha pokrytých území, intenzifikácia poľnohospodárstva a zvýšený podiel orného poľnohospodárstva zapríčinili nárast pôdnej erózie a zaplavovania. Prerozdelenie metód vo väčších oblastiach malo za následok spôsobenie viac erozívneho povrchového odtoku. Zmeny vo využití zeme teda prispeli k zvýšenou erózie, celkového odtoku a špičkového odtoku (peak runoff). Územia s lúkami a pastvinami stratili na svojej ploche v prospech urbanizovaných území a po roku 1975 tiež v prospech ornej pôdy. Udiala sa tiež zmena vo využívaní zeme v prípade plodín rastúcich v južnom Limburgu. Medzi rokmi 1960 a 1986 sa v južnom Limburgu plochy s druhmi plodín s vyšším rizikom erózie, ako napríklad kukurica a cukrová repa, zvýšili na úkor plôch s ozimnou pšenitou. Odtok s vysokým množstvom naplavovaných sedimentov spôsobil prehradenie vodných ciest a zanesol kanalizácie, zapríčinil zničenie ciest, záhrad a obydli [14].

Uvedomenie si problému pôdnej erózie narástlo od roku 1980. V tomto čase sa objavili prvé správy týkajúce sa ničivých efektov povrchového odtoku a pôdnej erózie, ako sú: zaplavovanie a ničenie súkromného majetku a infraštruktúry, strata vrchnej, úrodnej časti pôd, odplavovanie výsadby, zníženie úrody a strata hnojív, herbicídov a pesticídov, lokálne vstupujúcich do prírodných území. V dôsledku toho sa o tento problém začali zaujímať vládne inštitúcie, pretože veľká časť južného Limburgu je citlivá na pôdnou eróziu a s tým spojené nasledovné škody. V tom čase tu nebola žiadna forma vládnej politiky týkajúca sa pôdnej erózie. Preto vláda navrhla vytvoriť základnú štruktúru, vnútri ktorej by

boli miestne a provinčné plány poľnohospodárskych území testované vzhľadom na efekt pôdnej erózie a tiež záplav.

V roku 1990 holandská poľnohospodárska komisia predbežne prezentovala roľníkom preventívne protierózne predpisy, ktoré určovali udržiavať potencionálnu produkčnú kapacitu ornej pôdy v južnom Limburgu. Pre príklad, orné poľnohospodárstvo na poliach s priemerným gradientom sklonu vyšším ako 18 % už nebolo povolené. Ďalej bolo predpísaných niekoľko meraní pre polia s nižším gradientom. Merania dostatočne nepredišli efektom pôdnej erózie a zaplavovaniu. Lokálne a provinčné vlády potrebovali striktniejšiu reguláciu k predchádzaniu častých záplav a sedimentačných problémov v regióne. Údaje pre podporu rozhodovania buď neboli, alebo neboli dostatočne prístupné. Preto vznikla potreba výskumu a meraní týkajúcich sa presného udržiavania pôd a tiež ich vhodného umiestnenia. Tým sa mali redukovať problémy na akceptovateľnú úroveň. Lokálny a odborný zástupcovia správy spolu s dotknutými skupinami (množstvo poľnohospodárov, organizácií a environmentálnych skupín) potrebovali kvantitatívne hodnotenie rozlohy a iných hodnôt viažucich sa na problémy pôdnej erózie a tiež možné stratégie v južnom Limburgu na regionálnej báze. Preto boli tieto merania potrebné. Tiež tu vznikla potreba modelu pre kvantitatívnu simuláciu povrchového odtoku a pôdnej erózie, ktoré by bolo možné použiť k ohodnoteniu alternatívnych stratégií vedúcich k zlepšeniu obhospodarovania pôdy, nielen v monitorovaných územiach, ale tiež v rôznorodých povodiach [14].

6.1 Projekt LISEM

K získaniu potrebných údajov pre podporu rozhodovania bol vykonaný projekt pôdnej erózie v troch malých experimentálnych povodiach na území spraší južného Limburgu. Tento projekt bol financovaný Limburskou provinciou, ministerstvom poľnohospodárstva a 14. samosprávami južného Limburgu. Na tomto projekte sa ďalej podieľali úrady fyzickej geografie univerzít Utrechtu a Amsterdam a divízia pôdnej fyziky centra Winand Staring vo Wageningene.

Vo vnútri tejto oblasti, ako nástroj pre plánovanie a udržiavacie účely bolo potrebné vyvinúť a testovať nový, fyzikálne založený hydrologický a erózný model. Vznikol teda LISEM (the Limburing Soil Erosion Model). LISEM je fyzikálne založený hydrologický a pôdno–erózný model, ktorý môže byť použitý pre plánovacie a udržiavacie

účely. LISEM simuluje odtok a transport sedimentov v povodiach, zapríčinený individuálnymi zrážkovými udalosťami. Časový krok simulácie je voľne voliteľný od jednej sekundy až po 15 minút. LISEM môže byť aplikovaný na malé plochy a na povodia do rozlohy 1000 km². Procesy integrované v tomto modeli sú zrážky, intercepcia, ukladanie materiálu v mikrodepresiách, infiltrácia, vertikálny pohyb vody v pôde, povrchový odtok, ronový odtok a transportná kapacita toku. Tiež môže byť zahrnutý vplyv mechanizmov (vplyv kolies traktora), malých dláždených ciest (menších ako veľkosť pixla) a rôznych pruhov na poliach (zmeny vegetácie) [14].

Hlavnými výstupmi sú kvantitatívne výsledky modelu, ktoré môžu byť vylepšené znalosťami o priestorových a časových vlastnostiach povodia týkajúcich sa obsahu pôdnej vlhkosti a jeho hydraulickej konduktivity. Kvalitatívne výsledky sú realistické. Hlavné rozdiely medzi LISEMom a ostatnými eróznymi modelmi sú:

- na úrovni GIS, LISEM využíva rastrový typ reprezentácie povodia, ako napríklad ANSWERS a EROSION-3D, ktoré umožňujú detailnejšiu reprezentáciu procesov (napríklad 10 x 10 m pixel). To je rozdielne od iných procesne založených modelov, ako napríklad EUROSEM, KINEROS alebo WEPP, ktoré využívajú veľké, polygónové typy elementov,
- na programátorskej úrovni je LISEM konštruovaný dynamickým modelovacím jazykom, ktorý umožňuje vysokú flexibilitu,
- na procesnej úrovni má LISEM konceptuálne blízko k modelu EUROSEM a WEPP, zatiaľ čo napríklad ANSWERS využíva mnoho empirických vzťahov,
- V prípade limitovanej dostupnosti údajov môže užívateľ zvoliť Green-Amptovu rovnicu.

V modeli je kladený dôraz na vlastnosti, ktoré hrajú kľúčovú rolu pri záplavách a erózných problémoch v južnom Limburgu: vplyv rozchodov kolies na mechanizmoch a malé cesty. 25% a viac z územia poľnohospodárskych oblastí pozostáva z územia poznačeného prejazdom mechanizmov, ktoré majú menej kvalitnú štruktúru pôd a v dôsledku to slabšiu infiltračnú schopnosť. Odolnosť voči erózií je ale zasa lepšia v dôsledku väčšej pôdnej kohézie [14].

Keďže LISEM pracuje so štvorcovým pixlom, obvykle o veľkosti 10 alebo 20 m, malé poľné cesty o šírke 3 až 5 m je vo vstupoch ťažké zachytiť. Keďže tieto cesty môžu

pokrývať okolo 2 – 3% celkovej rozlohy povodia, a sú často situované tak že pôsobia ako hlavné erózne ryhy, tieto cesty tvoria dôležitú časť povrchového odtoku. Je bežné, že 5 – 10 % zrážok pripadá na odtok, takže cesty môžu byť zodpovedné za 25 až 50 % tohto množstva!

6.2 Model LISEM

LISEM simuluje eróziu a transport sedimentov počas a následne po jednotlivých zrážkovej udalosti a území daného povodia. Tento model je bežne využívaný na povodia o ploche od 10 do 300 ha. Tento model dokáže simulovať efekt využitia zeme a ochrany alebo obhospodarovania pôdy [24].

V prípade samotného modelu sa jedná o aplikáciu, ktorú si každý môže bezplatne stiahnuť z internetu a následne ju bezplatne využívať.

Filozofia LISEMu spočíva v tom, že nič nepredpokladá. Ako príklad autor uvádza situáciu, že pokiaľ je simulovaný efekt využitia zeme, nie je žiadna možnosť prikázať LISEMu, že by sa mohli zmeniť všetky vstupné premenné pretože, v tomto prípade musí užívateľ zmeniť všetky príslušné premenné sám, ako vstupy týkajúce sa infiltrácie, drsnosť povrchu, Manningov koeficient drsnosti, atď. To v skutočnosti znamená, že užívateľ toho modelu má väčšiu slobodu a je viac jasné, čo sa deje pri simulácii. Nevýhodou však je veľká náročnosť tohto modelu na potrebné informácie ohľadom vstupov a tiež skúsenosti používateľa [24].

Ako už bolo v predchádzajúcej časti tejto práce zmienené, tento model je jeden z prvých príkladov fyzikálne založeného modelu. Ten je kompletne integrovaný v rastrovom geografickom informačnom systéme PCRaster. Zdrojový kód je kombinácia C++ kódu, GIS operácií, matematických operácií a hydrologických funkcií. Medzi modelom a PCRastrom nie sú potrebné žiadne prevody. Všetky vstupné a výstupné vrstvy sú v rastrovom formáte, ktoré môžu byť zobrazované a spracovávané v softvéri PCRaster. Zjednodušená schéma fungovanie tohto modelu je v prílohe č. 1.

6.2.1 PCRaster

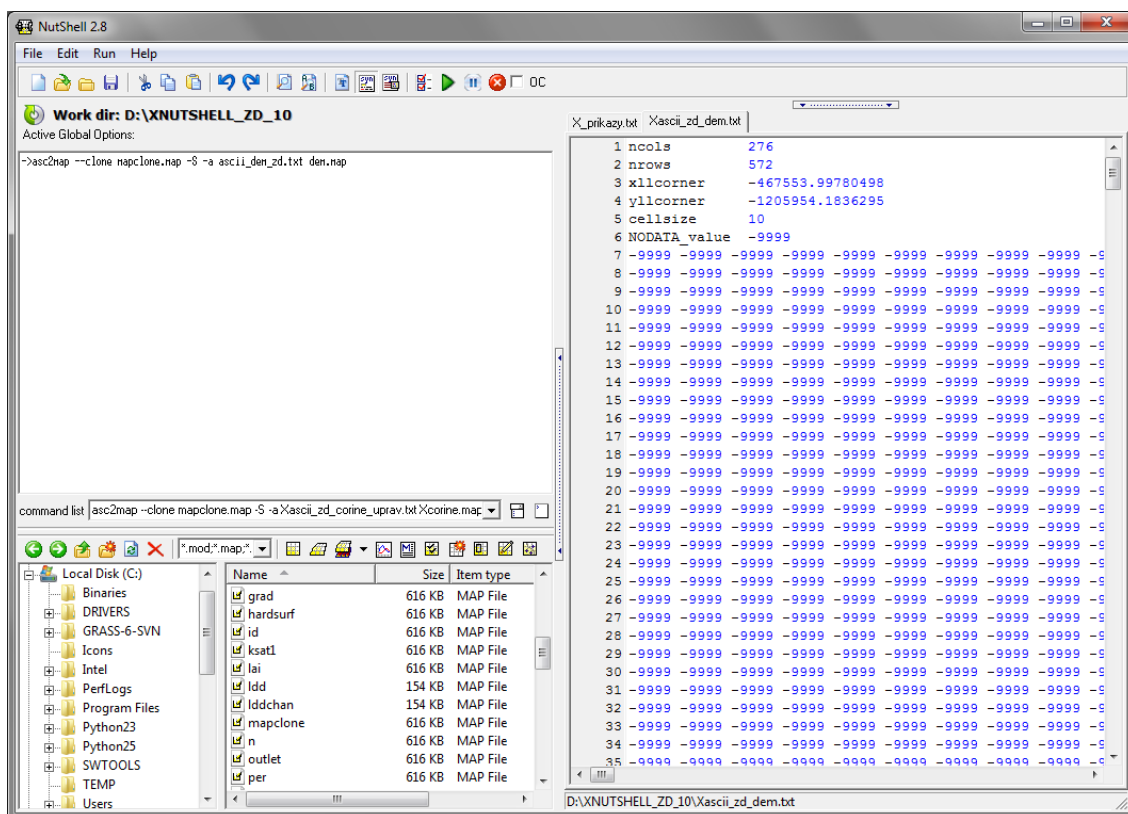
Modelovací jazyk PCRaster je počítačový jazyk určený pre konštrukciu iteračných, časovo-priestorových environmentálnych modelov.

Tento jazyk je na vysokej úrovni. Využíva časovo-priestorové operátory s vlastnou funkcionalitou, špeciálne určené pre konštrukciu časovo-priestorových modelov. Pri porovnaní s programovacími jazykmi nižšej úrovne (Pascal, C) má výhodu v tom, že modely sú programované a štruktúrované podľa spôsobu myslenia aplikovaného v časovo-priestorových vedách ako geológia alebo geografia. Výskumníkom umožňuje skonštruovať modely v relatívne krátkom čase, i keď nemajú veľké skúsenosti s programovaním [28]. Zoznam rozličných priestorových funkcií je na internetových stránkach, alebo v manuáli PCRastra.

Samotný softvérový balíček PCRaster je vyvíjaný a licencovaný spoločnosťou PCRaster Environmental Software a Fakultou geografických vied univerzity v Utrechte. Po registrácii na internetovej stránke PCRastra (obratom je žiadateľovi zaslaný inštalačný kód) a stiahnutí inštalačného balíka je možné tento jazyk využívať.

Pre prácu s PCRastrom je však potrebná aplikácia NutShell. Jedná sa o aplikáciu pre podporu free GIS balíčka PCRaster environmental software. Funkcia NutShellu spočíva v uľahčení práce s príkazmi PCRastra. NutShell nevyužíva registre OS Windows a jeho chod je bezproblémový. Voľne dostupný balíček s programom NutShell je k dispozícii na stránkach LISEMu. Obsahuje tiež aplikáciu Mapedit, ktorá je vhodná na jednoduché úpravy rastrových súborov vo formáte PCRaster (*.map) [26].

Na nasledujúcom obrázku č. 7 je okno aplikácie NutShell. V pravej časti aplikácie NutShell sa nachádza časť pre zobrazenie obsahu textových súborov (momentálne je v tejto časti zobrazený ASCII súbor digitálneho výškového modelu Zliechovskej doliny). V ľavej hornej časti je príkazový riadok a pod ním je prehliadač priečinkov. Zadávaním príkazov do príkazového riadku a sú vytvárané alebo editované nové vstupné vrstvy potrebné pre simuláciu v LISEMe.



Obr. 7: Okno aplikácie Nutshell v 2.8 pre podporu modelovacieho jazyka PCRaster

7 PRÍPRAVA VSTUPNÝCH VRSTIEV DO MODELU LISEM

LISEM potrebuje minimálne 24 vstupných vrstiev, v závislosti na počiatočnom nastavení modelu v prostredí programu. Aktivovanie rôznych dodatočných nastavení si samozrejme žiada potrebu nových, dodatočných vrstiev. Jedná sa napríklad o vstupné vrstvy týkajúce sa infiltrácie vody do pôdy, alebo simulácia erózných rýh. Tieto možnosti si predvedieme v nasledujúcom postupe prípravy vstupných dát do LISEMu a na konci prevedieme simuláciu.

Manuál LISEMu uvádza, že v prípade potreby všetkých vstupných vrstiev môžeme tieto odvodiť zo štyroch základných vrstiev. Jedná sa o:

- DEM
- Vrstva Land Use
- Vrstva pôdných typov na danom území
- Vrstva cestných komunikácií

Pravdepodobne sa ale jedná iba o situáciu, kedy nemáme možnosť zhotoviť mapové vstupy i z iných zdrojov. K týmto zdrojom môžeme zaradiť rôzne geoštatistické interpolácie alebo tiež diaľkový prieskum Zeme.

Vstupné vrstvy pre LISEM môžeme rozdeliť do nasledovných kategórií:

- vrstvy vlastností povodia
- vrstvy vegetácie
- vrstvy týkajúce sa vlastností pôd
- vrstvy infiltrácie (je možné zvoliť jednu z viacerých metód)
- eróžno-sedimentačné vrstvy
- vrstvy výskytu erózných rýh

Ďalším dôležitým vstupom sú údaje týkajúce sa zrážkovej epizódy. V rámci tohto vstupu je dôležité, aby bola zrážka meraná v čo najmenšom časovom intervale. Údaje o zrážkach sú zapísané v textovom súbore.

Vo fáze, kedy budeme tieto vstupné vrstvy zadávať do samotného modelu, musia byť tieto vstupy vo formáte PCRaster (*.map). V tejto časti práce budú jednotlivé vstupné vrstvy zhotovované pomocou príkazov jazyka PCRaster (zadávaním v aplikácii NutShell), ktorý som opísal v predchádzajúcej časti textu a pomocou postupov prevedených v softvéri ArcGIS verzie 9.3. V prípade jednotlivých názvov vstupných vrstiev budeme používať tie, ktoré sú východzie a sú kompatibilné i so staršími verziami aplikácie LISEM. Výhoda v striktnom dodržiavaní týchto názvov a nepoužívaní individuálnych názvov je v zamedzení potencionálnych komplikácií pri zadávaní týchto vstupov do modelu, pretože ten dokáže tieto východzie názvy vstupných vrstiev automaticky rozpoznáť.

7.1 Voľba záujmového územia

Pôvodným zámerom bolo modelovanie erózie použitím modelu LISEM na celom území CHKO SV. Pri postupnom zoznamovaní sa s týmto modelom som však došiel k záveru, že to počas jedinej simulácie nie je možné. Tento model totiž vyžaduje, aby malo dané územie jediný záverový profil. Keďže hranica CHKO SV nie je zároveň hranicou povodia, skladá sa z viacerých menších povodí, patriacich k väčším riekam (Váh, Nitra...), odvodňujúcich toto územie.



Obr. 8: Schématické vymedzenie Zliechovskej doliny v rámci CHKO Strážovské vrchy

Z týchto dôvodov som použil za účelom modelovania územie Zliechovskej doliny. Nachádza sa v južnej časti CHKO SV, vid'. obr. č. 8. Na presné vymedzenie záujmovej oblasti som použil geografickú rozvodnicu tohto územia. Vymedzené územie má rozlohu 9,06 km². Z morfológického hľadiska je veľmi členité. Prechádza ním Zliechovský potok. Maximálna nadmorská výška tohto územia dosahuje 1213 m n. m. na vrchole Strážov. Minimálna nadmorská výška dosahuje 415 m n. m. Mapa výškových pomerov reliéfu Zliechovskej doliny je priložená v mapovej prílohe (mapa č. 1).

7.2 Tvorba digitálneho výškového modelu

Digitálny výškový model za účelom využitia v modeli LISEM bol zhotovený z vrstevníc mierky 1:25 000. Tieto vrstevnice som získal na základe digitalizácie príslušného územia kladu mapového listu.

Taktiež bola za týmto účelom zdigitalizovaná riečna sieť územia Zliechovskej doliny, ktorá bola potrebná na zhotovenie hydrologicky korektného digitálneho výškového modelu. Samotný model bol vypočítaný použitím nástroja ArcGIS 9.3, Topo to Raster, ktorý sa nachádza v extenzii Spatial Analyst Tools.

Dôležitým parametrom digitálneho výškového modelu pre LISEM je priestorové rozlíšenie pixla, s ktorým bude tento model pracovať. Na základe štúdia a rôznych projektov, ktoré sa týmto modelom zaoberali, som zvolil pixel s priestorovým rozlíšením 10x10 m. Tento rozmer pixla bol použitý i v rôznych zahraničných projektoch, ktoré sa zaoberali modelovaním erózie v LISEMe. Ako príklad môžeme uviesť štúdiu zaoberajúcu sa kalibráciou tohto modelu na čínskej náhornej plošine Loess [19].

Po vytvorení digitálneho výškového modelu som tento následne exportoval do formátu ASCII. Použil som na to nástroj Raster to Ascii, nachádzajúci sa v balíku nástrojov Conversion Tools.

7.3 Tvorba mapového klonu v aplikácii NutShell

V prvom rade je potrebné vytvoriť pracovný adresár, do ktorého bude aplikácia NutShell ukladať svoje výsledky pri počítaní vstupných vrstiev. Tento krok prevedieme tak, že sa pomocou prehliadača priečinkov v aplikácii NutShell presunieme do nami zvoleného adresára a stlačíme zelené okrúhle tlačidlo so šípku, nachádzajúce sa v ľavej

hornej časti aplikácie. Po tomto úkone sa vedľa tohto tlačidla objaví i nami zmenená cesta k pracovnému adresáru.

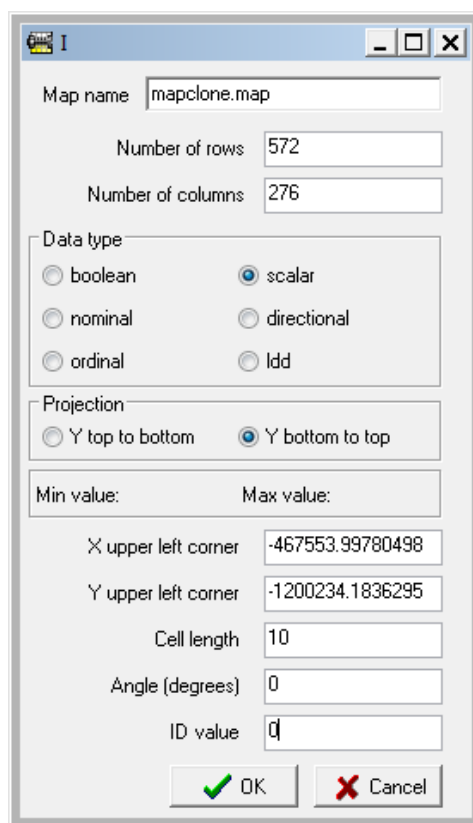
Pre tvorbu a výpočet vstupných vrstiev je potrebné vytvoriť tzv. mapový klon. Jedná sa v podstate o masku územia so základnými vlastnosťami, ktoré sa týkajú jej polohy, rozlíšenia v pixloch a priestorového rozlíšenia pixla. Formát tejto masky je rovnaký ako formát mapových vstupov (*.map). Tento mapový klon budeme využívať pre import ASCII súborov do formátu PCRaster pomocou aplikácie a NutShell (napríklad DEM). Na obrázku č. 9 je dialógové okno použité na zostrojenie nového mapového klonu. Postup na vytvorenie tohto klonu je nasledovný:

- V aplikácii NutShell si otvoríme dialógové okno s názvom Make new map,
- Zadáme nový názov s príponou .map a počet riadkov a stĺpcov, ktoré opíšeme z hlavičky ASCII DEM súboru. Dátový typ nastavíme na skalár,
- V časti Projection zadáme možnosť „Y bottom to top“,
- Do x-ového ľavého rohu zadáme súradnicu xllcorner z ASCII DEM súboru,
- Keďže program od nás žiada súradnicu y-ového ľavého rohu, musíme ju vypočítať, pretože ASCII súbor exportovaný z ArcMapu zapisuje do hlavičky ľavý dolný roh. Túto súradnicu vypočítame tak, že k ypsilonovej súradnici pripočítame hodnotu rovnajúcu sa počtu riadkov (572) vynásobenú veľkosťou bunky (10)
- Do kolónky Celllength zapíšeme zvolenú veľkosť bunky (10) a do polí Angle (v našom prípade ASCII súbor nie je pootočený) a ID zapíšeme hodnotu 0.

Po tom, ako sme vytvorili mapový klon, môžeme importovať vstupné vrstvy do formátu PCRaster. Tento úkon prevedieme zadaním nasledovného príkazu:

```
asc2map --clone mapclone.map -S -a ascii_dem.txt dem.map
```

Tento príkaz nám vytvorí z ASCII súboru digitálneho výškového modelu za pomoci mapového klonu nový súbor digitálneho výškového modelu v nami požadovanom formáte PCRaster. S týmto súborom môžeme ďalej vytvárať potrebné mapové vstupy v aplikácii NutShell



Obr. 9: Okno aplikácie NutShell na vytvorenie mapového klonu

7.4 Vrstvy vlastností povodia

Jednotlivé vstupné vrstvy týkajúce sa vlastností povodia sú väčšinou odvodzované z digitálneho výškového modelu. Niektoré z týchto vstupov ale využívajú napr. iba jeho hranice. Samotný digitálny výškový model nie je v modeli využitý ako vstupná vrstva.

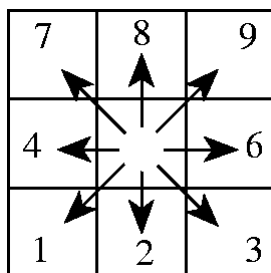
Tab. 4: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vlastností povodia

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
LDD	Lokálny smer odtoku	ldd	-	1 - 9
AREA	Hranica povodia	boolean	-	1
ID	Územie kryté zrážkomernou stanicou	nominal	-	1-n (= # staníc)
GRAD	Sklon svahu (sinus uhla sklonu svahu)	scalar	-	> 0 a <=1
OUTLET	Pozícia záverového profilu	nominal	-	0 - 3

Zdroj: [24]

LDD - Lokálny smer odtoku (Local Drainage Direction)

Táto vrstva obsahuje pre každú bunku hodnotu smeru povrchového odtoku. Hodnoty smeru v podstate korešpondujú rozloženiu kláves na numerickej klávesnici: hodnota 1 je smerom vľavo dole, hodnota 6 je smerom doprava, hodnota 5 je rezervovaná pre záverový profil. Táto štruktúra je zobrazená na nasledovnom obrázku.

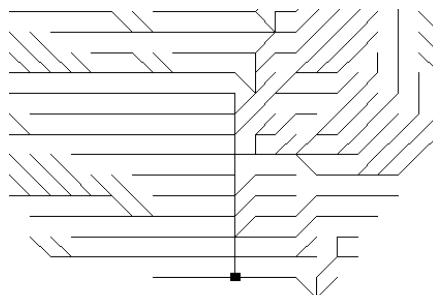


Obr. 10: Smer odtoku pre dátový typ LDD

Dôležitou podmienkou tohto vstupu je, že nesmie obsahovať lokálne depresie. Celé povodie musí byť odvodňované cez záverový profil. Výhodou PCRastra je to, že má k dispozícii príkaz, ktorý dokáže pri výpočte vrstvy lokálneho smeru odtoku odstrániť prípadne sa vyskytujúce lokálne depresie. V opačnom prípade by bolo potrebné previesť tento krok na digitálnom výškovom modeli iným spôsobom (napr. v ArcMape využitím funkcie Fill medzi hydrologickými funkciami v Spatial Analyst Tools, alebo v GRASSe využitím nástroja `r.fill.dir`). Vstupnú vrstvu lokálneho smeru odtoku vytvoríme v aplikácii NutShell pomocou nasledovného príkazu:

```
pcrcalc --lddin ldd.map=lddcreate(dem.map,1e10,1e10,1e10,1e10)
```

4 hodnoty zapísané v hexadecimálnom tvare sú hranice potrebné k odstráneniu priehlbní v digitálnom výškovom modeli. To znamená, že vznikne kontinuálna vstupná vrstva lokálneho smeru odtoku.



Obr. 11: Výrez z vrstvy LDD. V spodnej časti obrázku je záverový profil (hodnota 5)

AREA – Hranica povodia

Význam tohto vstupu do LISEMu spočíva v tom, že všetky ostatné vstupné vrstvy sú kontrolované s touto vrstvou kvôli zisťovaniu hodnôt, ktoré patria do povodia (hodnôt buniek, ktoré vstupujú do výpočtu). Problém je v tom, že pokiaľ sa v modeli vyskytne vstupná vrstva, v ktorej chýbajú hodnoty bunky v rámci územia povodia, ktoré v tomto prípade ohraničuje mapa AREA, model sa nespustí a ohlásí chybu. Vrstvu AREA získame zadáním nasledovného príkazu:

```
pcrcalc area.map=catchment(ldd.map, pit(ldd.map))
```

Zadaním tohto príkazu vznikne vstupná vrstva, ktorá má v rámci celkovej plochy povodia hodnoty 1. Bunky rastra, ktoré do povodia nepatria, majú hodnotu MV (Missing Values).

ID – Územie kryté zrážkomernou stanicou

Táto vstupná vrstva slúži na pridelenie zrážkovej epizódy k jednotlivým častiam povodia. Pokiaľ máme presne nameranú nejakú zrážkovú epizódu v rôznych častiach daného povodia, tento vstup zabezpečuje pridelovanie jednotlivých zrážkových úhrnov k danej časti povodia. Keďže sa ale zrážky merajú bodovo, je potrebné plošne vymedziť územie, ku ktorému patria hodnoty namerané danou zrážkomernou stanicou. Spôsobom, ako vymedziť toto územie je viac. Jednou z možností, ako k prislúchajúcim zrážkomerným staniciam vymedziť plochy, sú napr. Thiessenove polygóny.

Dôležitým pravidlom tejto vstupnej vrstvy je, že počet hodnôt v tejto vrstve musí zodpovedať počtu zrážkomerných staníc, z ktorých máme údaje o zrážkovej epizóde. Dôvodom je to, že pri modelovaní program číta jednotlivé zrážkové úhrny z textového súboru, kde sú tieto zrážky zaznamenané. Tento súbor musí mať dodržanú štruktúru, ktorá

závisí tiež od počtu zrážkomerných staníc na danom území a teda aj od počtu jednotlivých zón, ktoré k týmto zrážkomerným staniciam prislúchajú.

V našom prípade to ale znamená problém. Keďže na modelovanie potrebujeme zrážkovú epizódu, ktorá je nameraná v pomerne malých časových intervaloch (rádovo v minútach), nebolo možné získať takéto údaje merané z územia Zliechovskej doliny (nehovoriac o možnosti mať tieto údaje namerané na viacerých miestach skúmaného územia). Vzhľadom na tento fakt bola využitá zrážkomerná stanica nachádzajúca sa vo Valaskej Belej. Veľkou výhodou je, že SHMÚ nám poskytol podrobné údaje zo zrážkovej epizódy, ktorá sa udiala začiatkom leta 2007. Ďalšou veľkou výhodou je i to, že sa jedná o zrážkomernú stanicu siete SHMÚ, ktorá je ku skúmanému územiu najbližšie. Keďže sa jedná o zrážkovú udalosť, ktorá nepredstavuje búrku, pravdepodobnosť obdobného zrážkového úhrnu na našom skúmanom území by mala byť vysoká.

Z tohto faktu vyplýva, že náš mapový vstup ID bude mať iba hodnotu 1. Vstupnú vrstvu získame napríklad reklasifikáciou mapy AREA a následne zmenou dátového typu, pretože mapa ID musí byť nominálneho dátového typu.

```
pcrcalc --matrixtable id_scalar.map = lookupscalar(id.txt, 1, area.map)
```

Tento príkaz prečíta hodnotu bunky v mape AREA a podľa priloženého textového súboru (id.txt), do novej mapy ID_SCALAR, priradí novú hodnotu z textového súboru.

```
-9 → 1 CRLF
1 → 1 CRLF
```

Obr. 12: Štruktúra textového súboru použitého na reklasifikáciu

V tomto prípade má textový súbor iba dva riadky. Ako prvá je hodnota -9, ktorú program automaticky preskakuje. Nasleduje tabulátorom oddelená hodnota 1, ktorá predstavuje prvý stĺpec (je to hodnota 1, použitá v predchádzajúcom príkaze). Pod hodnotou -9 je hodnota 1. Je to hodnota, ktorá sa vyskytuje v pôvodnej mape (AREA) a tabulátorom oddelená jednotka predstavuje novú hodnotu, ktorá sa zapíše do mapy ID_SCALAR. Pokiaľ by mala mapa AREA viac hodnôt, tým pádom by mal textový súbor viac riadkov.

Je jasné. Že v tomto prípade bola reklasifikácia nepotrebná, pretože sa hodnoty buniek nemenia. Účelom tohto príkladu bolo zoznámiť čitateľa s postupom reklasifikácie v jazyku PCRaster, pretože sa bude používať i v iných prípadoch.

Následne je potrebné zmeniť dátový typ vstupnej vrstvy na nominálny. To prevedieme zadáním nasledujúceho príkazu do príkazového riadka aplikácie NutShell:

```
pcrcalc id.map = nominal(id_scalar.map)
```

GRAD – sklon svahu

Táto vstupná vrstva predstavuje sklon svahu v smere lokálneho smeru odtoku. Hodnoty tejto vstupnej vrstvy musia predstavovať sínus uhla sklonu. Keďže sa táto hodnota vyskytuje v niektorých výpočtoch v menovateli, nesmie nadobudnúť hodnotu 0. Na zhotovenie tejto vrstvy je možné použiť viac postupov. V tomto prípade som túto vrstvu zhotovil nasledovne:

```
pcrcalc grad.map=slope(dem.map)
```

V prvom kroku som z digitálneho výškového modelu spočítal sklony. V nasledujúcom kroku som tieto sklony previedol na sínus.

```
pcrcalc grad.map=sin(atan(max(0.001, grad.map)))
```

Použitím tohto príkazu na vypočítané sklony dostaneme potrebnú vstupnú vrstvu s názvom GRAD. Alternatívou k tomuto postupu je možné využiť nasledovný príkaz, ktorý prevedie oba kroky na jeden krát. Oba postupy boli odskúšané a dávajú identickú výsledok:

```
pcrcalc grad.map=max(0.001, sin(atan(slope(dem.map))))
```

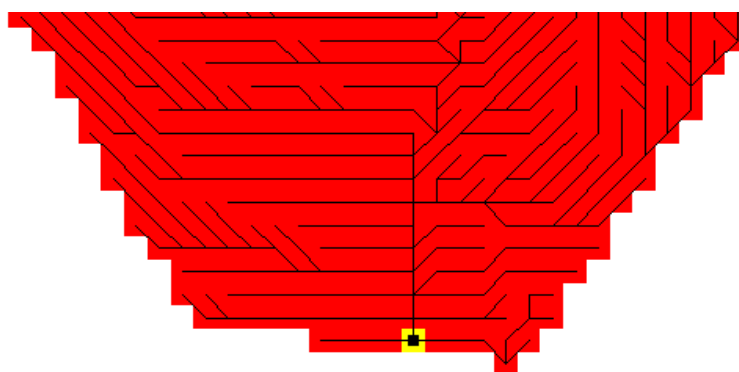
OUTLET – pozícia záverového profilu

OUTLET je vstupná vrstva s hodnotami 0 a 1, pričom hodnota 1 predstavuje pozíciu záverového profilu. Na základe týchto hodnôt sú ukladané hydrodiagramy a sedimentačné grafy v podobe ASCII súborov z daného miesta. V prípade tejto vstupnej vrstvy je možné vložiť ďalšie dve hodnoty 2 a 3. V prípade použitia týchto hodnôt by sa

z daných miest vypočítavali dodatočné hydrodiagramy a sedimentačné grafy. Hlavný záverový profil je nájdený použitím príkazu:

pcrcalc outlet.map=pit(ldd.map)

Na nasledujúcom obrázku je zobrazená vstupná vrstva OUTLET (červená farba = 0, žltá farba = 1) vypočítaná pomocou predchádzajúceho príkazu, prekrytá vrstvou LDD. Na obrázku je vidieť, že hodnoty predstavujúce miesto záverového profilu v mapách OUTLET aj LDD sú prekryté.



Obr. 13: Výrez zo vstupnej vrstvy OUTLET, prekrytej vrstvou LDD

7.5 Vrstvy vegetácie

Vrstvy týkajúce sa vegetácie sú v LISEMe využívané hlavne na výpočet intercepcie a povrchového zmyvu. Podľa tvorcov modelu vznikajú tieto vrstvy najmä reklasifikáciou máp s vyhraničenými oblasťami vegetácie. V našom prípade bude cenným zdrojom vrstva CORINE Land Cover 2000.

Tab. 5: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vegetácie

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
LAI	Index listovej pokrývnosti	skalár	-	0 - 12
PER	Podiel pôdy krytej vegetáciou	skalár	-	0 - 1
CH	Výška vegetácie	skalár	m	0 - 30

Zdroj: [24]

LAI – index listovej pokrývnosti

Index listovej pokrývnosti sa využíva na výpočet úložnej kapacity rastlínstva. Každá hodnota reprezentuje index listovej pokrývnosti danej bunky.

LAI je pomer celkovej rozlohy všetkých listov na rastline k rozlohe terénu krytého rastlinou. Ak má rastlina iba jednu vrstvu listov poukladaných jeden vedľa druhého, územie by malo hodnotu LAI rovnú 1, pretože by plocha listov bola rovná územiu, ktoré by kryla [30].

Pre mnoho druhov rastlín sa LAI mení vplyvom ročných období, alebo sa zvyšuje vekom. Dosahuje maxima od 2.0 do 6.0 (podľa preštudovaných zdrojov sa ale tieto hranice od seba mierne líšia).

Na meranie hodnoty indexu listovej pokrývnosti sa využívajú rôzne techniky založené buď na DPZ, alebo merané priamo v teréne. Približné intervaly hodnôt indexu listovej pokrývnosti sú známe z rôznych zdrojov. Jedným z nich sú napríklad merania NASA, alebo rôzne výskumy zaoberajúce sa zrážkovo-odtokovým modelovaním, ako napr. [27], alebo [21]. Vybrané intervaly indexu listovej pokrývnosti z rôznych zdrojov sú v prílohe č 2.

V našom prípade simuláciu uskutočníme na základe zrážky z konca jarného ročného obdobia (konkrétne zo 16. júna). Podľa Fulajtára a Janského (2001) je ročný chod zmyvu pôdy v tomto období najvyšší. Výhodou je taktiež fakt, že máme zrážkovú epizódu meraní v krátkych časových intervaloch. Hodnoty LAI necháme nezmenené, pretože v tomto období sú listy stromov už vyvinuté. Tieto hodnoty sú priradzované k jednotlivým územiám z vrstvy CORINE Land Cover. Tento krok je možné uskutočniť reklasifikáciou areálov vrstvy CORINE Land Cover v programe NutShell (prevedených do formátu PCRaster), ktorú som predviedol v predchádzajúcom texte, alebo pomocou iného softvéru (napr. ArcGis. Následne však treba túto vrstvu previesť do formátu PCRaster.).

PER – podiel pôdy krytej vegetáciou

Mapový vstup týkajúci sa podielu pôdy krytého vegetáciou bol zhotovený na základe mapy areálov z projektu CORINE Land Cover 2000. V záujmovom území sa vyskytujú poľnohospodárske, lesné a poloprírodné plochy. K týmto plochám máme definované rastlínstvo, ktoré má na nich prevažné zastúpenie.

V prípade tejto vstupnej vrstvy som jednotlivé hodnoty, týkajúce sa podielu pôdy krytej vegetáciou konzultoval a následne odhadol, pretože údaje týkajúce sa tohto faktoru nie sú k dispozícii.

Na skúmanom území sa vyskytujú územia s rastlinnými spoločenstvami prírodného, ale i antropogénneho pôvodu.

Tab. 6: Pridelenie hodnôt podielu pôdy krytej vegetáciou k areálom z CORINE Land Cover 2000

Kód CL 2000 3. úroveň	Popis kódu	Podiel pôdy krytej vegetáciou
2.1.1	Nezavlažovaná orná pôda	0,4
2.3.1	Pasienky	0,95
2.4.3	Pôda určená hlavne na poľnohospodárstvo s výrazným zastúpením prírodnej vegetácie	0,6
3.1.1	Listnaté lesy	0,85
3.1.3	Zmiešané lesy	0,75
3.2.4	Priechné lesokroviny	0,8

Z predchádzajúcej tabuľky je možné vidieť, že najvyšší podiel na pokryve pôdy majú územia kryté pasienkami, nasledujú listnaté a zmiešané lesy. Menší podiel som priradil územiám krytým priechnými lesokrovinami. Najnižší podiel majú územia s nezavlažovanou ornou pôdou, pretože v prípade poľnohospodárskych monokultúr dochádza k výraznému odkryvu pôdy. O trochu vyšší podiel majú územia využívané na poľnohospodárske účely s výrazným zastúpením prírodnej vegetácie.

CH – výška vegetácie

Výška vegetácie je potrebná k výpočtu kinetickej energie spôsobovanej dopadom kvapiek na zemský povrch. Tento faktor má vplyv na rozrušovanie pôdy kvapkami, ktoré stekajú alebo sú odrazené z listov vegetácie.

Vstupná vrstva výšky vegetácie bola vytvorená priradením hodnôt výšky vegetácie k plochám z CORINE Land Cover. Tieto hodnoty boli získané meraním v teréne. V prípade lesných spoločenstiev som údaje o výške stromov získaval odhadom. Keďže je vek vegetácie zastúpenej na jednotlivých plochách skúmaného územia rovnomerný, hodnota výšky vegetácie je zaokrúhlená na celú plochu.

Tab. 7: Pridelenie hodnôt výšky vegetácie k areálom z CORINE Land Cover 2000

Kód CL 2000 3. úroveň	Kategória využitia krajiny	Výška vegetácie
2.1.1	Nezavlažovaná orná pôda	0,25
2.3.1	Pasienky	0,10
2.4.3	Pôda určená hlavne na poľnohospodárstvo s výrazným zastúpením prírodnej vegetácie	0,45
3.1.1	Listnaté lesy	15,00
3.1.3	Zmiešané lesy	17,00
3.2.4	Priechné lesokroviny	1,30

7.6 Vrstvy týkajúce sa vlastností pôd

V tejto kategórii sa nachádzajú vstupné vrstvy, na základe ktorých dochádza k simulácii rôznych procesov, ako infiltrácia, ukladanie materiálu a povrchový odtok. Podľa autorov modelu LISEM sú tieto vrstvy založené prevažne na údajoch týkajúcich sa využitia zeme, alebo sú kombináciou vstupov zameraných na využitie zeme a pôdných máp. V rámci územia s poľnohospodárskymi plodinami sa niektoré hodnoty týchto vrstiev menia z dôvodu cyklu striedania plodín z dôvodu zmeny pokrytia pôdy plodinami, alebo zmeny v obrábacích postupoch.

Tab. 8: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vlastností pôd

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
N	Manningov koeficient drsnosti	skalár	-	0,001 - 0,5
RR	Štatistická drsnosť povrchu	skalár	cm	0,05 - 20
STONEFRC	Podiel pôdy krytej kameňmi	skalár	-	0 - 1
CRUSTFRC	Podiel pôdy krytej kôrou	skalár	-	0 - 1
ROADWIDT	Šírka nepriepustných ciest	skalár	m	0 – veľkosť bunky

Zdroj: [24]

N – Manningov koeficient drsnosti

Manningov koeficient drsnosti vyjadruje v prípade tejto vstupnej vrstvy rezistenciu povrchu voči povrchovému odtoku. Tento vstup som vytvoril na základe areálov vrstvy

CORINE Land Cover 2000. K jednotlivým areálom z tejto vrstvy som priradil hodnoty Manningovho koeficientu drsnosti, ktoré sú k dispozícii z rôznych zdrojov, napr. [22].

V nasledujúcej tabuľke sú hodnoty Manningovho koeficientu drsnosti, ktoré boli priradené k jednotlivým typom využitia zeme nachádzajúcim sa na tomto území.

Tab. 9: Hodnoty Manningovho koeficientu drsnosti priradené k jednotlivým typom využitia zeme

Kód CL 2000 3. úroveň	Kategória využitia krajiny	Manningov koeficient drsnosti
2.1.1	Nezavlažovaná orná pôda	0,15
2.3.1	Pasienky	0,24
2.4.3	Pôda určená hlavne na poľnohospodárstvo s výrazným zastúpením prírodnej vegetácie	0,4
3.1.1	Listnaté lesy	0,8
3.1.3	Zmiešané lesy	0,6
3.2.4	Priechnodné lesokroviny	0,4

Zdroj: upravené podľa [22]

RR – štatistická drsnosť povrchu

Štatistická drsnosť povrchu je v tomto prípade smerodajná odchýlka výškových rozdielov mikroreliéfu. V prípade merania priamo v teréne nie je nutné vypočítavať túto smerodajnú odchýlku z nameraných údajov, ktoré pochádzajú iba z normovaného normálneho rozdelenia (v tomto prípade nie je podstatné, z akého typu rozdelenia údaje pochádzajú).

Táto vstupná vrstva bola získaná porovnávaním pomocou príkladov prezentovaných na stránkach Poľnohospodárskeho úradu Spojených štátov amerických [20] a kontrolným meraním priamo v teréne. Z každého typu využitia zeme bolo vybrané územie o ploche 1 m². Z tejto časti územia bolo následne odobraných 100 (10 x 10) hodnôt pomocou nástroja o rozmeroch 10x10cm. Po priložení tohto nástroja na povrch bola odčítaná výška medzi stredom priloženého nástroja a pôdou. Z každého typu využitia zeme bolo odobraných 100 hodnôt, z ktorých som vypočítal smerodajnú odchýlku. Na základe porovnania výsledkov získaným porovnávaním z ilustračných mierok som dospel k podobným výsledkom (v rámci merania boli výsledky mierne podhodnotené, čo mohlo byť zapríčinené nesprávnou metodikou merania).

STONEFRC – podiel pôdy krytej kameňmi

Tento vstup je použitý pri výpočte povrchového zmyvu. Jedná sa o podiel územia krytého kameňmi, pre ktoré nie je veľkosť erózie počítaná. Táto vstupná vrstva bola zhotovená na základe prieskumu v teréne. Jednotlivé hodnoty tohto atribútu boli priradené k areálom vrstvy CORINE Land Cover. Na základe prieskumu som priradil najmenší podiel pasienkom (0,01) a poľnohospodársky využívaným územiám s podielom kameňov 0,05. Územiám, na ktorých rastú priechodné lesokroviny som priradil hodnotu 0,08. Najvyšší podiel územia pokrytého kameňmi som priradil územiám s porastom listnatých a zmiešaných lesov (0,1).

CRUSTFRC – podiel pôdy krytej kôrou

CRUSTFRC je vstup, ktorý nesie informáciu o podiele pôdy, ktorá je na povrchu zatvrdnutá alebo skôrnatá. Táto vlastnosť pôd bola na skúmanom území overovaná, avšak nič nenaznačovalo tomu, že bol zistený prípad skôrnatenia. Z tohto dôvodu má celé územie hodnotu 0 okrem buniek reprezentujúcich cesty, ktorým bola priradená hodnota 1.

ROADWIDT – šírka nepriepustných ciest

Táto vstupná vrstva je využitá v module pre výpočet infiltrácie. Jedná sa o vrstvu s vyznačenými cestami. Do tejto vrstvy zaznačujeme iba cesty, ktoré sú z nepriepustného materiálu ako asfalt, alebo betón. V tomto prípade má celé územie hodnotu 0 okrem buniek, ktoré predstavujú cestu. Hodnota buniek predstavujúcich cestu sa rovná šírke cesty v metroch. Hlavným cestám som priradil hodnotu 5 a vedľajším, spevneným cestám, som priradil hodnotu 3.

7.7 Vrstvy infiltrácie

V LISEME je možné zvoliť zo šiestich možností metód infiltrácie, ktoré sú založené na troch rôznych modeloch. Každý infiltračný model však potrebuje iné vstupné vrstvy. Môžeme si zvoliť z nasledujúcich možností:

1. Žiadna infiltrácie (nie je potrebná žiadna mapa)
2. SWATRE
3. Holtan/Overton
4. Green & Ampt, jeden a dvojvrstvová

5. Morell a Seytoux

V našom prípade volíme jednovrstvovú metódu infiltrácie Green & Ampt. Tento infiltračný model sa skladá z vrstiev, ktoré sú vymenované v nasledovnej tabuľke.

Tab. 10: Vstupy jednovrstvého infiltračného modelu Green & Ampt

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
KSAT1	Nasýtená hydraulická vodivosť	skalár	mm/hr	0 - 1000
THETAS1	Nasýtený objemový obsah pôdnej vlhkosti	skalár	-	0 - 1
THETA1	Iniciálny obsah pôdnej vlhkosti	skalár	-	0 - 1
PSI1	Počiatočná rozpínavosť pôdy pri zmáčaní	skalár	cm	0 - 1000
SOILDEP1	Hĺbka pôdy	skalár	mm	0 - 1000

Zdroj: [24]

Podľa Unucku (2008) metóda Green-Ampt vychádza z obecného zákona o hydraulickej vodivosti a rýchlosti prúdenia kvapalín (Darcyho zákon) v nenasýtenom priepustnom prostredí a pórovitosti pôdy. Bola rozpracovaná už roku 1911 v USA, je implementovaná do viacerých modelov a v zrážkovo-odtokových modeloch patrí medzi najrozšírenejšie.

KSAT1 – nasýtená hydraulická vodivosť

Metóda Green & Ampt vychádza z hydrologických a hydraulických vlastností pôdy. Rozhodujúcim parametrom je v prípade metódy Green & Ampt hydraulická vodivosť pôdy [15]. Hydraulická vodivosť KSAT (označovaná ako „ K_s “) vyjadruje vzťah medzi rýchlosťou infiltrácie a hydraulickým gradientom v Darcyho zákone [1].

Vstupná vrstva KSAT bola vypočítaná na základe CN kriviek priradeným k jednotlivým typom územia. Tieto typy územia sú kombináciou využitia zeme z vrstvy CORINE Land Cover a vrstvy pôdných typov. Na základe kódov vrstvy CORINE Land Cover a hydrologických skupín pôd priradeným k pôdnym druhom boli vygenerované CN krivky pripadajúce k danému typu územia. Na základe hodnoty CN bola k danému územiu dopočítaná nasýtená hydraulická vodivosť KSAT použitím nasledovných vzťahov [8]:

$$KSAT = \frac{100 - CN}{15.499} \quad [\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}] \text{ pre hodnoty CN viac ako 75}$$

$$KSAT = 30,75 - 0,39CN \quad [\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}] \text{ pre hodnoty CN menej ako 75}$$

THETAS1 – nasýtený objemový obsah pôdnej vlhkosti

Vstupná vrstva THETAS1 patrí medzi vstupy, pre ktoré bolo ťažké získať podklady pre jej zhotovenie. Jedinou informáciou o tejto vrstve je jej rozmedzie od 0 do 1. Informácií týkajúcich sa tejto hodnoty je málo. Táto vrstva bola vypočítaná na základe informácií štúdie zaoberajúcej sa podobným problémom [29]. Na výpočet bol použitý nasledovný vzťah:

$$THETAS1 = 0,93 \cdot TP$$

Hodnota TP je hodnota maximálnej pórovitosti vzorky. Hodnoty pórovitosti sú ľahšie dostupné. Na výpočet boli využité hodnoty z prílohy č. 3. Vyberal som hodnoty z kategórie stredných a ťažkých pôd, pretože sa v skúmanom území vyskytujú hlinité a ílovito-hlinité pôdy.

Následne som musel priradiť atribúty kyprosti. Tieto atribúty som priradil jednotlivým areálom vrstvy CORINE Land Cover. Lesné pôdy a pôdy na ktorých sa vyskytujú lesokroviny som označil ako utlačené. Pôdy s pasienkami som označil ako kypré a poľnohospodársky využívané areály ako kyprá ornica. Na základe týchto atribútov som týmto areálom priradil hodnoty pórovitosti z tabuľky v prílohe č. 3 a vypočítal som hodnotu THETAS1 pre jednotlivé územia.

THETAI1 – iniciálny obsah pôdnej vlhkosti

Na zhotovenie tejto vrstvy som použil vstupnú vrstvu nasýtenej hydraulikkej vodivosti – KSAT1. Keďže informácie tohto typu sú nedostupné, na základe konzultácie som k jednotlivým bunkám priradil hodnotu rovnajúcu sa jednej desatine hodnoty z vrstvy KSAT1.

PSI1 – počiatočná rozpínavosť pôdy pri zmáčaní

Hodnoty počiatočnej rozpínavosti pôdy pri zmáčaní boli po konzultácií odhadnuté kvôli nedostupnosti informácií tohto typu. Pri pridelovaní hodnôt som vychádzal z mapy pôdných druhov, ku ktorým som na základe konzultácie prideloval hodnoty počiatočnej rozpínavosti pôdy pri zmáčaní. Pri vyčíslovaní hodnôt tohto faktoru som vychádzal z predpokladu, že pôdy piesočnaté budú mať hodnotu rozpínavosti menšiu ako hlinité, alebo ílovité pôdy. Hlinitým pôdam bola priradená hodnota 21 a ílovito-hlinitým pôdam hodnota 26.

SOILDEP1 – hĺbka pôdy

Pri pridelovaní hodnôt tomuto atribútu som vychádzali z vrstvy hĺbky pôd dostupných na informačnom portáli VÚPOP a ďalej z hodnôt, ktoré boli dostupné v literatúre. Vrstvu hĺbky pôd som vytvoril na základe areálov pôdných typov, nachádzajúcich sa na tomto území.

7.8 Eróžno-sedimentačné vrstvy

Erózia a sedimentácia je v LISEME založená na stratovej transportnej kapacite (nadbytok kapacity sa porovnáva s úložným a transportným deficitom a ten sa porovnáva s eróziou). Čiastočky v toku majú určitú rýchlosť, ktorá je odhadnutá nastavením rýchlosti mediánu frakcie (vstup D50). Táto trieda má nasledovné vstupy:

Tab. 11: Eróžno-sedimentačné vstupné vrstvy

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
AGGRSTAB	Agregovaná stabilita	skalár	-	0,00001 - 200; -1
COH	Kohézia čistej pôdy	skalár	kPa	COH + COHADD \geq 0,196
COHADD	Dodatočná kohézia vplyvom koreňov	skalár	kPa	COH + COHADD \geq 0,196
D50	Hodnota pôdy D50	skalár	μm	25 - 300 (odporúčaná)

Zdroj: [24]

AGGRSTAB – agregovaná stabilita

Pôdne agregáty sú skupiny pôdných častíc, ktoré sú navzájom spojené. Priestor medzi agregátmi tvoria póry, zabezpečujúce zadržiavanie a výmenu vzduchu a vody.

Agregovaná stabilita vyjadruje schopnosť pôdných agregátov odolávať ich rozrušovaniu v prípade pôsobenia vonkajších síl, ktoré sú často spojené s pôsobením vody. Táto vstupná vrstva je použitá na výpočet povrchového zmyvu. Štandardný spôsob získavania tejto hodnoty sú laboratórne merania [32].

Podľa autorov modelu LISEM sa jedná o medián počtu kvapiek potrebných k zníženiu veľkosti agregátov o polovicu. Táto hodnota sa získava na základe meraní. V našom prípade bola táto vrstva zhotovená kombináciou areálov z vrstvy CORINE Land Cover a vrstvy pôdných druhov. Použitý bol softvér ArcGIS a príkaz Union. Hodnoty boli vyčíslené na základe priradenia koeficientov k územiám z vrstvy CORINE Land Cover z nasledovnej tabuľky, ktoré boli násobené číslom 3 pre územia s hlinitou pôdou a číslom 4 pre územia s ílovito-hlinitou pôdou.

Tab 12: Koeficienty použité na výpočet agregovanej stability

Kód CORINE LC	Popis	Koeficient
2.1.1	Nezavlažovaná orná pôda	1,0
2.3.1	Lúky a pasienky	1,2
2.4.3	Pôda určená hlavne na poľnohospodárstvo s výrazným zastúpením prírodnej vegetácie	1,3
3.1.1	Listnaté lesy	1,8
3.1.3	Zmiešané lesy	1,7
3.2.4	Priechodné lesokroviny	1,5

COH – kohézia čistej pôdy

Kohézia pôdy, alebo súdržnosť (z lat. cohaesio = súdržnosť) v kPa je hodnota meraná torvanom (špeciálne náradie používané pedológmi). Hodnota kohézie je použitá v empirickom vzorci na zníženie transportného deficitu s faktorom medzi 0 (žiadna erózia) a 1 (pôda bez kohézie) [24].

Čo sa týka presných hodnôt pôdnej kohézie, tie sa získavajú na základe laboratórnych meraní odobraných vzoriek. Pri zhotovení tejto vstupnej vrstvy budeme vychádzať z mapy pôdných druhov. Pôdy s vysokým obsahom ílu budú mať hodnotu kohézie vyššiu, ako pôdy hlinité alebo pôdy piesočnaté, ktoré majú z hľadiska pôdných typov túto súdržnosť najnižšiu. Na území Zliechovskej doliny sa nachádzajú pôdy ílovitohlinité a hlinité, ktorým bola po konzultácii priradená hodnota 3,5 a 3.

COHADD – dodatočná kohézia vplyvom koreňov

Jedná sa o dodatočnú kohéziu v kPa, ktorá je použitá na simulovanie efektu koreňovej sústavy rastlín na silu pôdy [24]. Na základe dostupných zdrojov som na výpočet použil rovnicu zo štúdie PESERA [29], zaoberajúcou sa modelovaním v LISEMe. Tento vzťah vychádza zo vstupnej vrstvy podielu pôdy krytej vegetáciou (PER), pretože sa snaží popísať závislosť medzi koreňovou sústavou rastlín na pôdu.

$$pcr_{calc} \text{ cohadd.map} = (38.2 - 33.9) * per.map$$

D50 – hodnota pôdy D50

Hodnota D50 je medián pôdnej textúry udaný v μm . Táto vstupná vrstva je použitá na simuláciu sedimentačnej rýchlosti. Pomerne významne ovplyvňuje ukladanie materiálu. Na základe odporúčení autorov modelu sa má táto hodnota stanovovať v rozmedzí 25 – 300 μm . Tiež je potrebné uvedomiť si nasledovný princíp. Jedná sa napr. o prípad, kedy preteká voda so sedimentmi s hodnotou D50=25 cez bunku s D50=150, v tomto prípade sa pretekajúce sedimenty s hodnotou 25 uložia.

Tento vstup som odvodil na základe mapy pôdných druhov pretože hodnota D50 závisí od veľkosti pôdných častíc. Vzhľadom na fakt, že D50 sa určuje laboratórne, musel som túto hodnotu odhadnúť. Územiám tvorenými ílovito-hlinitými pôdami som priradil hodnotu 40 a územiám tvorenými hlinitými pôdami som priradil hodnotu 100.

7.9 Vrstvy výskytu erózných rýh (v rámci lineárnej formy erózie)

Ryhy v LISEMe sú myslené ako priehlbne so šírkou menšou ako je veľkosť bunky. Typicky sa vyskytujú priehlbne so šírkou obvykle menšou ako 1,5 m na bunke o veľkosti 10 x 10 m. Sieť týchto erózných rýh musí byť kontinuálna. Voda vtekajúca do týchto rýh z nich v LISEMe nevyteká von (neprelieva sa z nich).

V prvom rade je potrebné vytvoriť masku erózných rýh. Táto maska má v bunkách reprezentujúcich eróziu ryhu hodnotu 1 a v ostatných bunkách je hodnota MV (Missing Value). Táto maska je vytvorená na základe vstupu LDD (lokálny smer odtoku). V tomto prípade sú všetky bunky, ktoré majú viac ako 10 000 m^2 plochy odtokového územia proti prúdu, označené ako ryhy. Táto maska nie je využitá ako vstup do modelu, ale slúži na

výpočet ostatných potrebných vrstiev. Autori uvádzajú nasledovný príkaz na vytvorenie masky:

$$pcrcalc\ chanmask.map = scalar(if(accuflux(ldd,cellarea()) < 10000, 1))$$

Problém je v tom, že tento príkaz priradí bunkám reprezentujúcim erózne ryhy hodnotou MV a bunkám mimo erózne ryhy hodnotu 1, čo je opak toho, ako potrebujeme. Kvôli tomu je potrebné tento vstup pomocou mapovej algebry upraviť. V tomto prípade bol použitý softvér ArcGis 9.3 a funkcie mapovej algebry. Po úprave bol výsledný vstup importovaný pomocou ASCII súboru do formátu PCRaster.

V nasledujúcej tabuľke sú potrebné vstupy, ktoré je možné zhotoviť pomocou masky rýh.

Tab. 13: Vstupné vrstvy týkajúce sa erózných rýh

Názov mapy	Obsah	Dátový typ	Jednotka	Rozsah
LDDCHAN	Lokálny smer odtoku siete erózných rýh	ldd	-	1 - 9
CHANGRAD	Sklon erózných rýh	skalár	-	0,0001 – 10 ⁶
CHANMAN	Manningov koeficient drsnosti er. rýh	skalár	-	0,001 - 0,6
CHANCOH	Kohézia v spodnej časti eróznej ryhy	skalár	kPa	> 0,196
CHANWIDT	Šírka erózných rýh	skalár	m	0 - veľkosť bunky
CHANSIDE	Tvar prierezu eróznej ryhy	skalár	-	0 - 10

Zdroj: [24]

LDDCHAN – lokálny smer odtoku siete erózných rýh

Táto vstupná vrstva je založená na vstupe LDD. Je to v podstate vrstva LDD v rámci vytvorenej masky. Dostaneme ju nasledovným príkazom:

$$pcrcalc\ lddchan.map = lddcreate(dem.map * chanmask.map, 1e10, 1e10, 1e10, 1e10)$$

CHANGRAD – sklon erózných rýh

Jedná sa o vrstvu zachytávajúcu hodnoty sklonu siete vygenerovaných erózných rýh. Vytvoríme ju nasledovným príkazom:

$$pcrcalc\ changrad.map = max(0.001, sin(atan(slope(chanmask.map * dem.map))))$$

CHANMAN – Manningov koeficient drsnosti erózných rýh

Vrstva CHANMAN predstavuje rezistenciu povrchu eróznej ryhy voči odtoku. Pokiaľ je tento koeficient použitý na simuláciu vzniknutých erózných rýh v údolniciach, môže byť táto vrstva podľa autorov odvodená z vrstvy Manningovho koeficientu drsnosti (vrstva N). Použil som nasledovný príkaz:

$$pcrcalc\ chanman.map=n.map*chanmask.map$$

CHANCOH – kohézia v spodnej časti eróznej ryhy

Táto vrstva slúži na zaznamenanie hodnoty kohézie v spodnej časti erózných rýh. Táto hodnota nie je bežne známa a preto býva predpokladaná. Pokiaľ je sieť erózných rýh simulovaná na základe vzniku v údolniciach, je možné použiť vrstvu kohézie (COH) spolu s vrstvou dodatočnej kohézie vplyvom koreňovej sústavy rastlín (COAHDD).

$$pcrcalc\ chancoh.map=(coh.map+cohadd.map)*chanmask.map$$

CHANWIDT – šírka erózných rýh

Vstupná vrstva CHANWIDT je hodnota predpokladanej šírky spodnej časti ryhy v metroch. Keďže tvar rýh v priečnom reze nemusí byť pravouhlý, vrchná šírka vo výške vodnej hladiny a hydraulický polomer je počítaný z bočného uhla a výšky vodnej hladiny v eróznej ryhe [24]. Táto hodnota môže byť menšia ako veľkosť bunky, pretože sa predpokladá, že väčšina erózných rýh nedosiahne až takej vysokej hodnoty, čo sa týka ich šírky. Táto hodnota sa obvykle odhaduje na základe skúseností a pozorovaní v teréne. V tomto prípade som zvolil hodnotu 0,5 m pre celú sieť vygenerovaných erózných rýh. Areál skúmaného územia má hodnotu 0, okrem buniek reprezentujúcich sieť vygenerovaných rýh. Tieto bunky majú hodnotu predpokladanej šírky erózných rýh v metroch. Túto vrstvu som dostal použitím mapovej algebry a reklasifikácie v programe NutShell.

CHANSIDE – tvar prierezu erózných rýh

V tomto prípade sa jedná o tangentu spodnej časti eróznej ryhy k jej vertikále. Výška vodnej hladiny v ryhe závisí od uhla strany eróznej ryhy. Pokiaľ výška hladiny stúpa, má to za následok rozširovanie eróznej ryhy, maximálne však do hodnoty šírky bunky. Túto vstupnú vrstvu je možné získať reklasifikáciou vrstvy CHANWIDT. Areál skúmaného územia má hodnotu 0, okrem buniek reprezentujúcich sieť vygenerovaných

erózných rýh. Tieto bunky majú hodnotu od 0 do 10 (hodnota 0 je pravouhlý tvar eróznej ryhy, hodnota 1 je ryha so sklonom bočných stien 45° a hodnota 10 značí veľmi širokú eróznou ryhu so sklonom bočných stien 84°) [24]. V našom prípade predpokladáme, že odolnosť pôdy sa s hĺbkou zvyšuje. To má podľa Holého (1994) za následok vznik rýh v tvare písmena V. Preto som bunkám reprezentujúcim miesta výskytu erózných rýh priradil hodnotu 1.

7.10 Údaje o zrážkovej epizóde

Súbor obsahujúci údaje o zrážke je vo formáte ASCII. Je dôležité, aby bola u tohto súboru dodržaná predpísaná štruktúra. Názov súboru nie je predpísaný (v tomto prípade som použil názov súboru „rainfall.txt“). Na nasledovnom obrázku je zobrazená časť tohto súboru.

```
RUU CSF TIMESERIE INTENSITY NORMAL 1
station_1

0 0
20 0
21 0.055
22 0.157
23 0.474
24 0.626
25 1.244
26 1.579
...
195 0.006
196 0.004
197 0.001
198 0.002
199 0.003
350 0
```

Obr. 14: Časť súboru obsahujúceho údaje o zrážke

Prvý riadok tohto súboru je predpísaný. Druhý riadok predstavuje názov prvej stanice. Pokiaľ by boli dostupné údaje z viacerých zrážkomerných staníc, ich názvy by pokračovali v ďalších riadkoch. V nasledujúcom prvom stĺpci sú merané údaje zachytávajúce čas merania v minútach od počiatku zrážkovej udalosti. Tieto intervaly nemusia byť rovnaké. V druhom stĺpci, oddelenom tabulátorom, je zapísaná hodnota zrážkového úhrnu v mm.h^{-1} , nameranom za daný časový interval. Pokiaľ by sme mali

údaje z dvoch zrážkomerných staníc, údaje o úhrne z druhej stanice by boli zapísané v treťom stĺpci.

Pri tvorbe tohto súboru by mala byť hodnota posledného časového intervalu väčšia, a nie iba do konca zrážky (posledná hodnota 350 na predchádzajúcom obrázku). Je to z dôvodu umožnenia dosiahnutia záverového profilu pre celú zrážku. Ďalej je nutné, aby bol časový krok v LISEMe (v našom prípade 30 sekúnd) menší, ako meraný interval zrážok (v našom prípade je minimum 1 minúta), inak sú údaje zo zrážkového úhrnu zaokrúhlené.

8 SIMULÁCIA POMOCOU MODELU LISEM

Po zhotovení potrebných vstupov môžeme pristúpiť k samotnej simulácii. Po spustení aplikácie LISEM zvolíme v úvodnom okne možnosť Basic. Ostatné možnosti sa zameriavajú na analýzu špeciálnych možností ako dopad stôp po mechanizmoch (Wheeltracks), alebo modelovanie strží (Gullies).

Následne je potrebné zadať cestu k pracovnému adresáru, adresáru pre vstupné vrstvy a k výstupnému adresáru. V časti Model Options zvolíme možnosť modelovania erózných rýh – zvolíme možnosť Simulate Main Channels. V časti Infiltration Method zvolíme možnosť Green & Ampt – 1 layer. Následne je potrebné nastaviť čas simulácie. Tento čas závisí na údajoch o zrážkovej epizóde. V našom prípade máme údaje od nulej sekundy po 350. s. Zadáme hodnotu 300, pretože skutočná zrážka končí približne v 200. minúte a 100 minút na dodatočný odtok po zrážke postačuje. Ďalej je potrebné zvoliť časový interval generovania nových výsledkov, ktorý volíme 30 s. Na karte Output zvolíme možnosti pre generovanie výstupných vrstiev. Vyberieme zo zoznamu Eróziu a Depozíciu. Ako jednotku použijeme $t \cdot ha^{-1}$. Zvolíme tiež názvy pre základné výstupy, eróziu a depozíciu a názov textového súboru, do ktorého sa zapíšu hodnoty z miesta záverového profilu. Na záver je nutné toto nastavenie uložiť. Samotnú analýzu spustíme zelenou šípkou (run) v hornom ovládacom paneli.

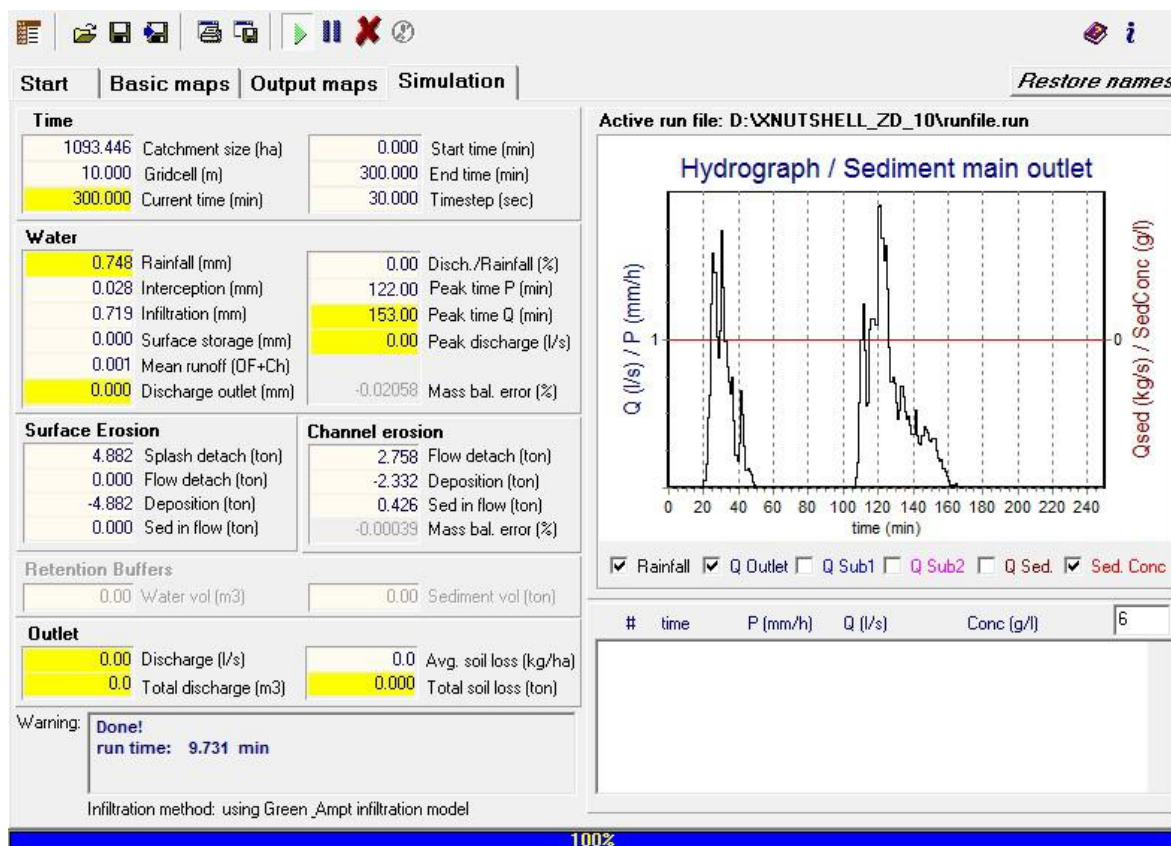
8.1 Výsledky analýzy

Výsledky analýzy sú uložené v príslušnom adresári. Jednotlivým výstupným vrstvám je potrebné priradiť príponu *.map. Jedná sa o časové série, vypočítané modelom. V týchto sériách je zaznamenaný priebeh intenzity erózie vo zvolených 30 sekundových intervaloch. Z týchto časových sérií bola zhotovená pomocou softvéru ArcMap 9.3 animácia, týkajúca sa intenzity erózie počas simulácie, ktorá je na priloženom DVD. Jedným z výstupov je i celková intenzita erózie a depozície, ktoré sú v mapovej prílohe (mapa č. 2 a mapa č. 3). Tieto výstupy bolo ale potrebné reklasifikovať.

Jedným zo základných výstupov LISEMu je okno simulácie, v ktorom sú zobrazené základné parametre. Je zobrazené na nasledujúcom obrázku.

V časti Time sú základné charakteristiky týkajúce sa veľkosti povodia, veľkosti bunky (10 m) a dosiahnutý čas simulácie (300 min). V tejto časti sú ešte zobrazené časové údaje simulácie ako počiatočný čas (0 min), koncový čas (300 min) a časový krok (30 s).

V časti Water sú základné charakteristiky týkajúce sa samotnej zrážky. Prvý údaj Rainfall dosiahol hodnoty 0,74 mm. V tomto prípade by sa malo jednať o zrážkový úhrn a toto číslo nezodpovedá realite, pretože v skutočnosti napršalo 53,69 mm. Nasledovné údaje týkajúce sa interceptcie a infiltrácie sa zdajú byť taktiež veľmi nízke a nedosahujú ani jeden mm. Zrážka dosiahla maxima v 122. minúte (Peak time P) a kulminačný prietok (Peak time Q) dosiahol maxima v 153. minúte. Tieto údaje sa dajú porovnať z grafom v pravej časti okna, kde je zaznamenaný priebeh zrážky.



Obr. 15: Výstupné simulačné okno modelu LISEM

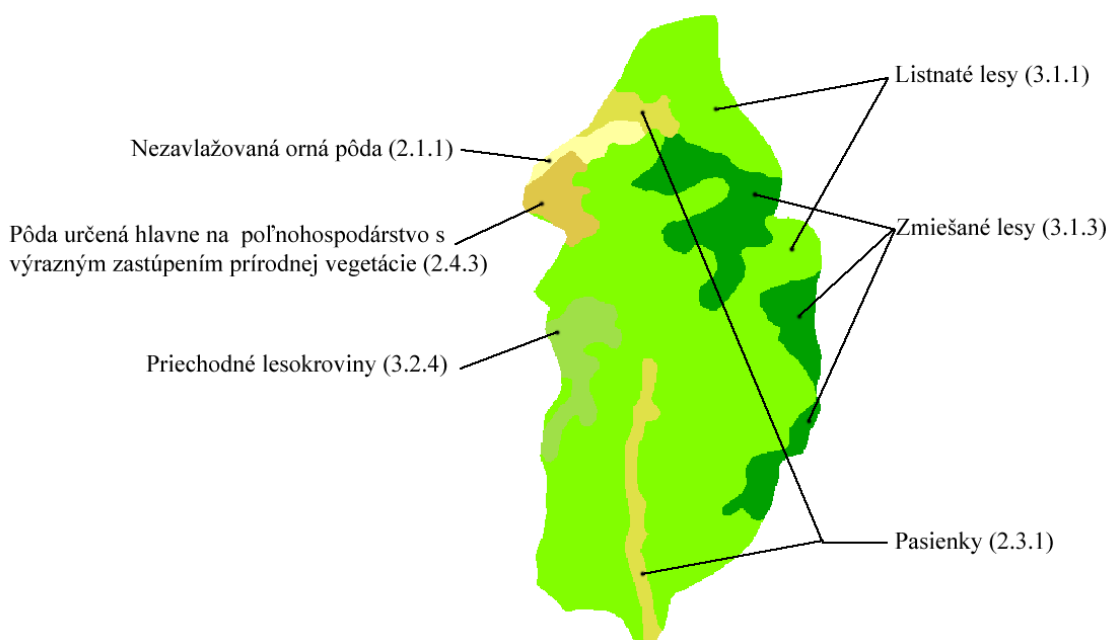
V časti Surface Erosion sú zaznamenané súhrnné údaje týkajúce sa plošnej erózie z danej epizódy. Celkovo bolo uvoľnených 4.88 ton materiálu. Tento istý objem sa zároveň uložil (v rámci plošnej erózie). Z údajov Sed in flow, ktorý dosiahol 0 ton, môžeme konštatovať, že nenastal odnos materiálu z povodia cez záverový profil (pravdepodobne

nebola zrážka pre vznik tohto javu silná. Pri kontrolnej simulácii s vymyslenou intenzívnejšou zrážkou však k tomuto javu došlo).

V časti Channel erosion sú zaznamenané údaje vzhľadom na ryhovú eróziu. Už na prvý pohľad je zrejmé, že táto erózia bola omnoho intenzívnejšia. Odnos materiálu dosiahol 2,75 ton, čo je viac ako polovica z plošnej erózie. Plocha vygenerovaných erózných rýh je však vzhľadom na plochu Zliechovskej doliny zanedbateľná. V rámci ryhovej erózie sa z pôvodných 2,75 ton uložilo 2,33 ton a záverovým profilom prešlo 0,42 ton.

8.2 Porovnanie a zhodnotenie výsledkov analýzy v teréne

Jedným z výstupov, na ktoré sa v tejto časti práce zameriame, je mapa erózie a depozície, ktoré sú v mapovej prílohe prílohe (mapa č. 2 a č. 3). V prvom rade treba podotknúť, že sa jedná o intenzitu erózie vzhľadom na danú zrážkovú epizódu, nie za obdobie v rozsahu niekoľkých rokov. Na skúmanom území existuje niekoľko typov využitia zeme. Vo všeobecnosti sa tu nachádza poľnohospodárska pôda, pasienky, kroviny a lesné porasty. Pokiaľ sa pozrieme na výslednú mapu intenzity erózie (mapa č. 2), vidíme, že v prípade plošnej erózie je najmenšia intenzita na území, ktoré je využívané ako pasienky, alebo sa tu vyskytuje trávny porast. Pre lepšiu orientáciu je na nasledujúcom obrázku rozdelenie skúmaného územia na jednotlivé druhy využitia zeme.



Obr. 16: Krajinný pokryv na území Zliechovskej doliny

Tento výsledok pokladám za správny, pretože trávny porast je jedným z najúčinnějších protieróznych opatrení. Ďalej treba pripomenúť, že sa tieto plochy nachádzajú na miernejších svahoch, takže tu zohráva významnú úlohu faktor morfológie územia. V prípade plošnej erózie na nezavlažovanej ornej pôde vyšiel výsledok zaradený do rovnakej intenzity, ako napríklad veľká časť listnatých alebo zmiešaných lesov, ktoré sa nachádzajú väčšinou na veľmi strmých svahoch, na rozdiel od poľnohospodársky obrábanej pôdy, ktorá je situovaná na miernych svahoch. To znamená, že v prípade ornej pôdy na základe uskutočnenej analýzy skutočne dochádza ku zvýšenému nárastu erózie pôdy.

Výsledky tejto analýzy však môžu byť ovplyvnené niektorými so vstupných vrstiev, pretože v niektorých prípadoch bolo náročné nájsť vyhovujúci zdroj a v prípade niektorých vstupov sme sa museli spoliehať na odhad. Preto som použil na analýzu viacej variant niektorých vstupných vrstiev. V týchto prípadoch som použil odhadované minimálne a následne maximálne hodnoty. Po reklasifikácii výstupov, ktorá je na interpretáciu výsledkov z LISEMu nutná, som dospel k podobným výsledkom.

Jedným z hlavných výstupov z tohto modelu je tiež mapa depozície, ktorá je v mapovej prílohe (mapa č. 3). Môžeme si na nej všimnúť, že územie pod lineárnymi formami erózie má hodnoty ukladania materiálu najnižšie. Pomerne nízke zastúpenie majú tiež územia pod listnatými a zmiešanými lesmi. Najvyšší podiel na sedimentácii majú územia na dne dolín. Ďalej je pomerne zaujímavý výsledok v severnej časti územia, kde sa nachádza pod úpäťm Strážova časť zatravnenej plochy (2.3.1 – pasienok). Táto plocha má pomerne vysoký stupeň ukladania materiálu. Príčinou môže byť práve umiestnenie pod strmým svahom. Tiež je pomerne zaujímavé, že model vypočítal nános materiálu i na spevnených cestách, čo je správne.

8.2.1 Zhodnotenie výsledkov týkajúcich sa lineárnych foriem erózie

V prípade lineárnych foriem erózie, ktorá je v pokročilejšom stave a vytvára hlbšie erózne ryhy, je táto pri prieskume ľahšie rozpoznateľná. Na mape intenzity erózie z danej zrážkovej epizódy je zaznamenaná i intenzita erózie v prípadných lineárnych formách, ktoré boli vygenerované. Tieto výsledky som šiel overiť do terénu.

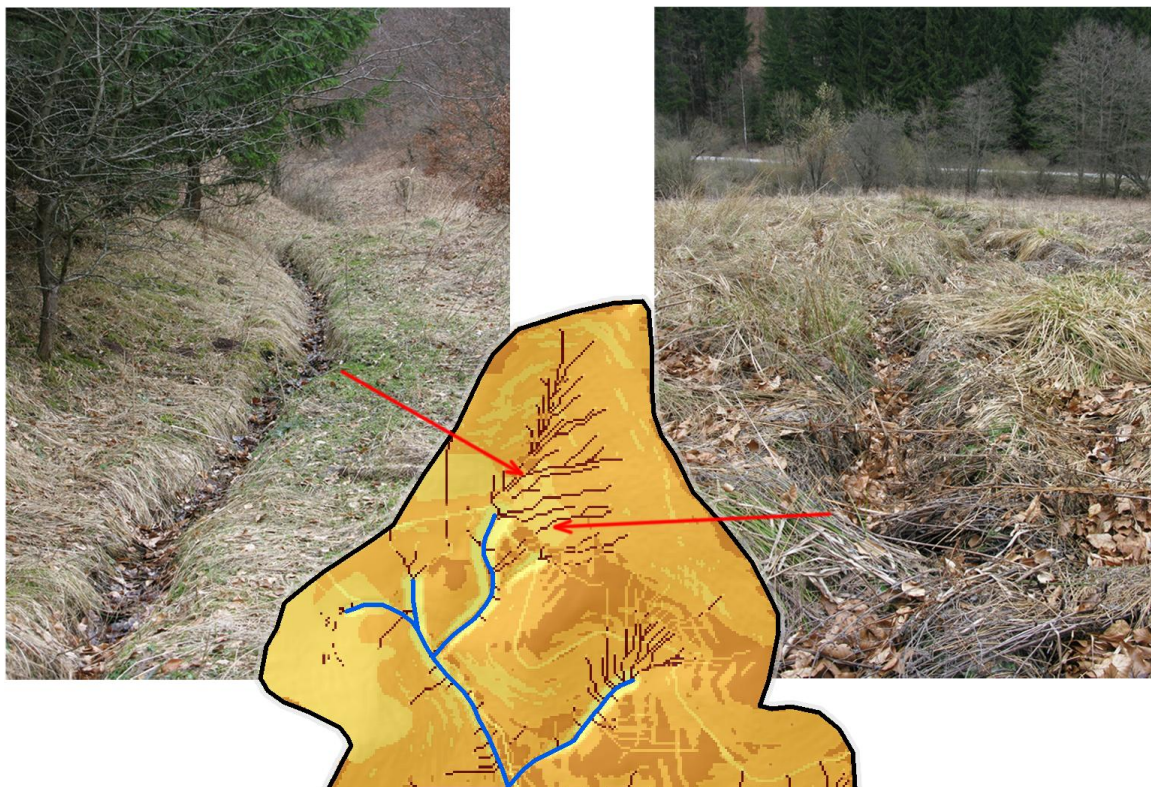
Počas prieskumu som overoval miesta, kde bol potencionalny výskyt týchto foriem najpravdepodobnejší. Jedná sa napríklad o severnú časť územia, v ktorej sa nachádza strmý svah vrchu Strážov. V týchto miestach sa na výstupnej mape nachádza pomerne hustá spleť erózných rýh. V skutočnosti však táto spleť nebola nájdená a v realite sa prejav tejto formy erózie sústredil do niekoľkých širších, rozerodovaných línií, smerujúcich priamo k údolnici. V tomto prípade však bola erózia zapríčinená i podpovrchovým zmáčaním pôdnej vrstvy, pretože sa do týchto miest sústreďoval i podpovrchový odtok. Existencia výskytu tohto príkladu môže byť zapríčinená i zvýšeným odtokom, vplyvom topenia snehovej pokrývky. Príklad tejto situácie je zobrazený na nasledovnom obrázku. Celkovo bolo na území lesných porastov obťažnejšie rozoznať existenciu lineárnych foriem erózie, pretože bola pôda pokrytá vysokou vrstvou opadaného lístia.



Obr. 17: Vznik odtokového kanálu vplyvom sústredeného odtoku

Pomerne dobrý výsledok som zaznamenal na zatrávnených areáloch v severnej časti územia. Skutočný stav je na nasledujúcom obrázku. Úspechom je fakt, že sa výskyt týchto rýh naozaj potvrdil. Samotné rozloženie týchto rýh v teréne a ich počet ale nie je úplne totožný s vygenerovaným výsledkom. Na základe analýzy by sa malo jednať o štyri súbežne ležiace erózne ryhy. Na modelovanie tohto javu je však potrebný veľmi presný

digitálny výškový modelu, čo sa prejavilo pri generovaní masky erózných rýh. Ďalším faktorom, ktorý mohol výsledok ovplyvniť, je hodnota počtu buniek, ktoré sa nachádzajú proti prúdu daného odtokového územia, použitá pri tvorbe masky erózných rýh.



Obr. 18: Lineárne formy erózie na zatrávnených plochách Zliechovskej doliny

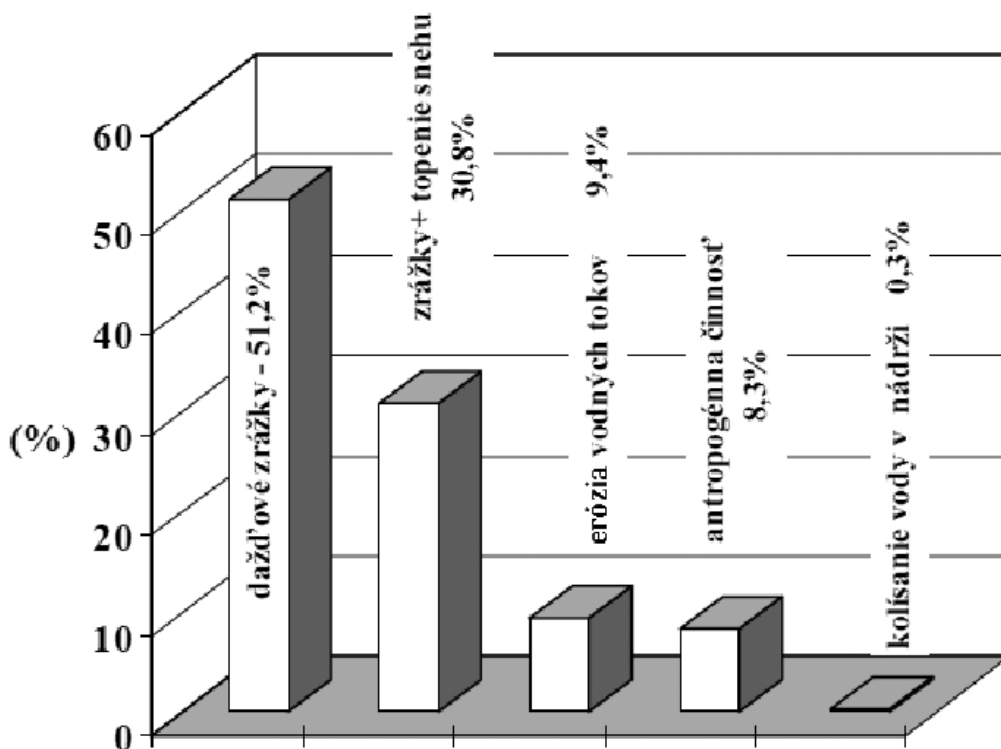
Vo všeobecnosti môžeme konštatovať, že analýza územia na výskyt lineárnych foriem erózie pomocou modelu LISEM je zaujímavým doplnkom tohto modelu. Pokiaľ však chceme dostať výsledok, ktorý by bol porovnateľný so skutočnosťou, je potrebné použiť na simuláciu čo najpresnejšie údaje. Pre analyzovanie územia na výskyt lineárnych foriem erózie hrá veľmi dôležitú úlohu digitálny výškový model územia, ktorý by mal byť čo najpresnejší, pretože v tomto prípade sa výsledok prejaví zreteľnejšie, ako v prípade modelovania plošnej erózie.

V prípade potreby sú jednotlivé vrstvy vstupujúce do tohto modelu i so spúšťacím súborom (runfile.run) súčasťou priloženého DVD.

9 MODELOVANIE PLYTKÝCH ZOSUVOV

V nasledujúcej časti tejto práce sa budem zaoberať modelovaním pravdepodobnosti výskytu plytkých zosuvov na celom území CHKO Strážovské vrchy. Dôvodom začlenenia modelovania pravdepodobnosti výskytu plytkých zosuvov v tejto práci je fakt, že v prípade plytkých zosuvov sa jedná o negatívny fenomén, príčinou ktorého je aj erózia. Jedná sa najmä o prípady v kombinácii s prívalovými zrážkami, kedy k týmto zosuvom dochádza najčastejšie.

Podľa Marschalka (2001) je rozhodujúcim momentom pre vznik väčšiny zaznamenaných svahových deformácií na prírodných svahoch podzemná a povrchová voda. Tento výskyt úzko súvisí s klimatickými pomermi danej oblasti. Toto plne potvrdili aj údaje z ankety o výskyte zosuvov a podmienkach ich vzniku, ktoré boli získané od obecných úradov (362 obcí) v SR (obr. č. 19). Podľa Vlčka (1991) je hodnotenie ich vplyvu zložité, pretože často vystupujú skryto, alebo v kombinácii s niektorým z uvedených prírodných faktorov.



Obr. 19: Percentuálny podiel niektorých faktorov na vznik zosuvov pôdy na Slovensku (údaje z ankety na obecných úradoch)

Zdroj: [23]

V súčasnosti je možné použiť na modelovanie tohto javu niekoľko druhov modelov. Za účelom tejto úlohy sme zvolili model SINMAP, ktorého stručný popis nájdete v nasledujúcom texte. Jednou z výhod tohto modelu je existencia verzie (SINMAP 2.0) ktorá je extenziou softvéru ArcGis 9.x.

9.1 SINMAP

SINMAP (Stability Index Mapping) je nadstavba softvérového balíka ArcGIS, ktorá implementuje výpočet a mapovanie indexu stability sklonu, založeného na dátach geografických informačných systémov, primárne na výškových údajoch.

Tento softvér bol vyvinutý za účasti organizácií Terratech Consulting Ltd., štátnej univerzity v Utahu a C. N. Fluvial System Consulting, za podpory Forest Renewal British Columbia. Jedná sa o bezplatný softvér, ktorý je možné distribuovať za podmienok dodržiavania podmienok stanovených licenciou GNU GPL verzie 2, ktorá bola publikovaná inštitúciou Free Software Foundation.

SINMAP má teoretický základ v modeli stability svahu úplnej roviny s vlhkosťou získanou z topograficky založeného ustáleného hydrologického modelu [31].

Na získanie potrebných vstupných informácií, najmä sklonu, sú využité údaje z digitálneho výškového modelu daného územia. Čo sa týka vstupných údajov, ktoré do modelu vstupujú, môžu byť tieto v priestore premenlivé a nie vždy predstavujú homogénnu štruktúru v rámci stanovených hraníc. Tieto parametre môžu byť nastavené a kalibrované použitím geografických kalibračných regiónov, ktoré sú založené na údajoch týkajúcich sa vlastností pôd, vegetácie a na geologických údajoch. Použitá metodológia v sebe zahŕňa i interaktívnu vizuálnu kalibráciu, ktorá spočíva v porovnaní výsledku s pozorovanými zosuvmi. Táto kalibrácia sa vykonáva v priebehu, nadväzujúc na mapu indexu stability daného územia a na diagram špecifickej zbernej oblasti [31].

Metodológia SINMAPu je založená na modeli nekonečnej stability sklonu (tento model je podrobne rozpísaný v manuáli SINMAPu), ktorá balansuje destabilizujúcimi komponentmi gravitácie a ustalujúcimi komponentmi trenia a kohézie na nestabilnej rovine rovnobežnej s povrchom. Tlak v póroch spôsobený pôdnou vlhkosťou znižuje efektívne normálne napätie, ktoré vplyvom uhla trenia súvisí s pevnosťou v šmyku. Pórový vodný tlak je počítaný za predpokladu hydrologicky ustáleného stavu s hĺbkou nasýtenej pôdy vypočítanej k dostatočnému udržiavaniu postranného vyprázdňovania

proporcionálneho k špecifickému územiu povodia. SINAMP odvodzuje klasifikáciu stability terénu zo vstupov topografického sklonu a špecifikácie záujmovej oblasti a z parametrov kvantifikujúcich fyzikálne vlastnosti (ako pevnosť) a vlastnosti klímy (jedná sa najmä o parameter hydrologickej vlhkosti). Každý z týchto parametrov je vymedzený na numerickom rastru daného záujmového územia. Hlavným výsledkom tohto modelovacieho prístupu je index stability, numerická hodnota, ktorá je následne použitá na klasifikáciu stability terénu každej bunky študovaného územia. Topografické veličiny sú automaticky vypočítavané z údajov digitálneho výškového modelu. Ostatné vstupné parametre sú veľmi neurčité (problém s týmito hodnotami nastal pri získavaní niektorých vstupných vrstiev do modelu LISEM). Preto vstupujú do modelu v štýle zadávania ich hornej a spodnej hranice, ktorých by mohli dosiahnuť. Index stability je definovaný ako pravdepodobnosť, že dané územie je stabilné za predpokladu homogénneho rozdelenia parametrov v rámci týchto nejednoznačných rozsahov hodnôt. Tieto rozsahy hodnôt indexu stability sú medzi 0 (najnestabilnejší) a 1 (menej nestabilný). Index stability je definovaný ako faktor bezpečia (pomer stabilizujúcich síl k destabilizujúcim) na tejto pozícii pod najkonzervatívnejšou skupinou parametrov. To dáva hodnotu vyššiu ako 1.

Výber hraničných hodnôt indexu stability (1.5, 1.25, 1, 0.5, 0.0) je subjektívny a vyžaduje nasledovné posúdenie a interpretáciu v zmysle posúdenia ich definície a vlastností daného územia. Napríklad v prípade výsledných tried indexu stability sú použité názvy ako „stabilný“, „mierne stabilný“ a „takmer stabilný“ pre klasifikáciu území, ktoré by podľa modelu nezlyhali za použitia konzervatívnych hodnôt jednotlivých parametrov v špecifikovanom rozsahu parametrov. Index stability je v tomto prípade faktorom bezpečia, ktorý dáva odhad veľkosti destabilizujúcich faktorov (napríklad zvýšená vlhkosť spôsobená cestnou drenážou) požadovaných pre existenciu nestability. Tento model používa označenia ako „dolný prah“ a „horný prah“ pre charakterizovanie regiónov, kde vzhľadom na nejasné rozsahy parametrov kvantifikovaných modelom, pravdepodobnosť nestability je menšia, respektíve väčšia ako 50%. Poslednú možnosť tvorí kategória „náchylný svah“, ktorá charakterizuje regióny, pre ktoré vzhľadom na model platí, že svah je náchylný na zosuv pre akékoľvek hodnoty zadané do vstupných intervalov [31]. Vlastnosti hraničných hodnôt sú v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 14: Vlastnosti hraničných hodnôt indexu stability v modeli SINMAP

Situácia	Trieda	Predpovedaný stav	Rozsah parametrov	Pravdepodobný vplyv Faktorov
$SI > 1,5$	1	Stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné významné destabilizujúce faktory
$1,5 > SI > 1,25$	2	Stredne stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné mierne destabilizujúce faktory
$1,25 > SI > 1,0$	3	Takmer stabilný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	K nestabilite sú nutné nepatrné destabilizujúce faktory
$1,0 > SI > 0,5$	4	Dolný prah svahu	Pesimistická polovica rozsahu potrebná k nestabilite	K nestabilite nie sú nutné destabilizujúce faktory
$0,5 > SI > 0,0$	5	Horný prah svahu	Optimistická polovica rozsahu potrebná k nestabilite	Stabilizujúce faktory môžu byť dôležité pre stabilitu
$0,0 > SI$	6	Náchylný svah	Rozsah nemôže modelovať nestabilitu	Pre stabilitu sú nutné stabilizujúce faktory

Zdroj: [31]

9.2 Tvorba vstupných vrstiev do modelu SINMAP

Základnou vstupnou vrstvou potrebnou pre výpočet indexu stability daného územia je digitálny výškový model CHKO SV. Použil som digitálny výškový model z vrstevníc mierky 1:50 000 o veľkosti pixla 25m. Pri modelovaní indexu stability väčších území boli použité podobné parametre digitálneho výškového modelu i v ukázkových prácach zaoberajúcich sa týmto modelom, ktoré sú prezentované v dokumentácii modelu.

Pri základnom nastavení je digitálny výškový model jedinou vstupnou vrstvou, ktorá do modelu vstupuje. Okrem toho je potrebné poznať rozmedzia hodnôt, ktoré sa zadávajú do modelu ako východzie. Sú to intervaly ako kohézia pôdy (v tomto prípade bezrozmerná s minimom 0 a maximom 1), uhol trenia v stupňoch, a hustota pôdy.

V mojom prípade som ale zvolil možnosť využitia tzv. kalibračných regiónov. Podľa autorov modelu sa jedná o vstupnú vrstvu, ktorá má pre dané územie predstavovať iné fyzikálne vlastnosti pôdy ako ostatné územia. Táto vrstva je väčšinou založená na areáloch pôdných druhov a pod., čo som využil i v tejto práci. Okrem areálov týkajúcich sa

pôdnych druhov na danom území som využil i existenciu areálov, ktoré sú poľnohospodársky obrábané. Na týchto územiach je pôda náchylnejšia na zosuvy vplyvom rôznych činiteľov, ako napríklad orba a pod. Tieto areály som vyčlenil z vrstvy CORINE Land Cover. Z tejto vrstvy som vyčlenil územia s kódom 2.1.1 (nezavlažovaná orná pôda) a 2.4.2 (pôdy s komplexnými osevnými postupmi). Vrstvu kalibračných regiónov som rozdelil na územia vyčlenené pôdnymi druhmi. Do týchto území som vsadil poľnohospodársky využívané územia (nedelil som pôdne druhy v rámci poľnohospodársky využívaných území). Takto som dostal vrstvu kalibračných regiónov, pozostávajúcu z piatich druhov území. Ich výpis s priradenými hodnotami je v nasledujúcej tabuľke.

Dôležitou vlastnosťou tejto rastrovej vrstvy je, že musí pokrývať celé skúmané územie a každé z regiónov musí mať unikátnu hodnotu (napr. dve oddelené regióny s hlinitou pôdou musia mať rôznu hodnotu). K týmto regiónom je potrebné zhotoviť textový súbor (*.csv), ktorý k týmto regiónom, vymedzeným podľa jedinečnej hodnoty, priraduje ich fyzikálne vlastnosti. Jeho štruktúra je v prílohe č. 4. Pri zhotovovaní tejto vstupnej vrstvy boli použité najmä operácie mapovej algebry. Postup pri vytváraní uľahčila funkcia ArcGis 9.x nazvaná Region Group (Spatial Analyst Tools), ktorá priradila každému regiónu unikátnu hodnotu.

Tab. 15: Hodnoty fyzikálnych vlastností pôdy v jednotlivých regiónoch v kalibračnej vrstve vstupujúcej do SINMAPu

Druh územia	trmin [m]	trmax [m]	cmin [0 - 1]	cmax [0 - 1]	phimin [°]	phimax [°]	SoilDens [kg/m ³]
Hlinito - piesočnatá pôda	2000	3000	0.00	0.20	25	45	1900
Piesočnato - hlinitá pôda	2000	3000	0.00	0.22	26	45	1950
Hlinitá pôda	2000	3000	0.00	0.25	28	45	2000
Ílovito - hlinitá pôda	2000	3000	0.00	0.28	30	45	2050
Poľnohospodársky využívaná pôda	2000	3000	0.00	0.22	24	45	2000

Hodnoty cmin a cmax sú hodnoty dolnej a hornej hranice kohézie, ktorá sa zadáva bezrozmerné (od 0 do 1). Pri vyčíslňovaní týchto hodnôt som vychádzal z východných hodnôt, pričom so zväčšujúcim sa obsahom ílu sa hodnota bezrozmerné kohézie postupne zväčšuje.

Phimin a phimax je dolná a horná hranica uhla trenia, ktorá súvisí so sklzom pôdy. Menšie hodnoty dolnej hranice phimin som priradil piesočnatým pôdam, pretože u nich predpokladáme nižšiu súdržnosť. Najvyššiu dolnú hranicu som priradil ílovitým pôdam.

SoilDens je hodnota hustoty pôdy. Východzia hodnota je 2000 m^3 . Pri vyčísľovaní týchto hodnôt som vychádzal z predpokladu, že pôdy z vyšším obsahom piesku budú mať nižšiu hustotu a pôdy s vyšším obsahom ílu budú mať túto hodnotu vyššiu.

Postup zadávania jednotlivých vrstiev do SINMAPu nemá cenu popisovať. Je podrobne popísaný v manuáli SINMAPu.

9.3 Vyhodnotenie náchylnosti územia na plytké zosuvy

Územie CHKO Strážovské vrchy bolo vo vstupnej vrstve kalibračných regiónov rozdelené do piatich kategórií, ktorých zastúpenie je zobrazené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 16: Zastúpenie jednotlivých druhov regiónov tvoriacich vrstvu kalibračných regiónov územia CHKO Strážovské vrchy

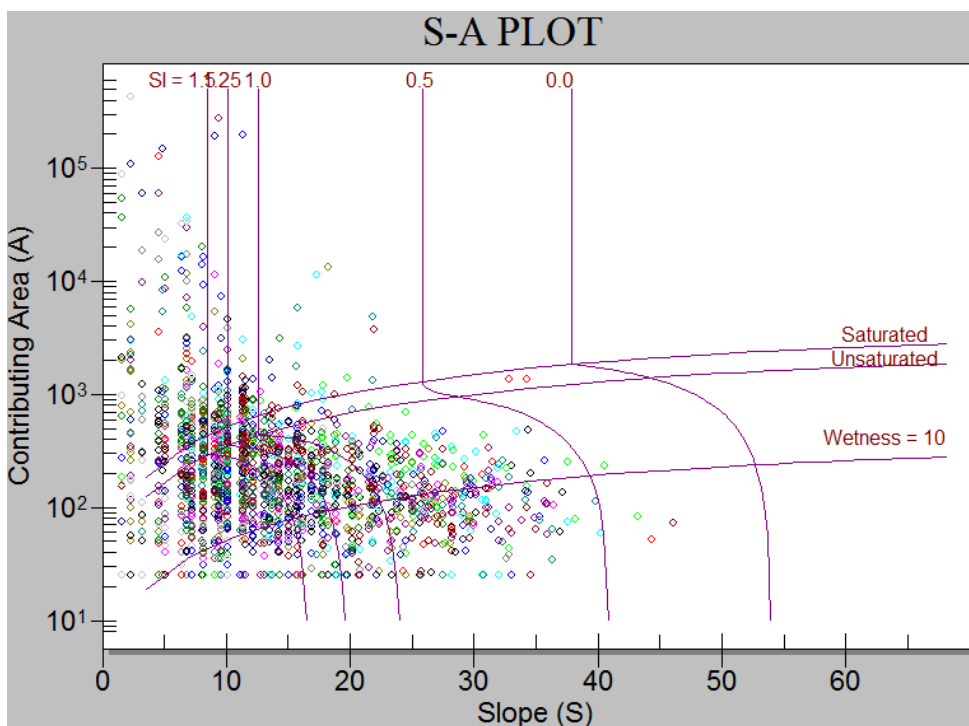
Druh územia	Rozloha [km ²]	Zastúpenie [%]
Hlinito - piesočnatá pôda	11.602	2.564
Piesočnato - hlinitá pôda	12.909	2.853
Hlinitá pôda	377.206	83.361
Ílovito - hlinitá pôda	31.324	6.923
Poľnohospodársky využívaná pôda	19.454	4.299
SUMA	452.495	100

Na základe analýzy výsledkov v nasledujúcej tabuľke č. 17 možno konštatovať, že väčšina územia bola ohodnotená ako stabilná, pričom zaberá takmer 43 % z rozlohy územia. Do kategórie indexu stability hodnotenej ako stredne stabilný pripadá 14,5 % a do takmer stabilnej kategórie 18,8 % rozlohy územia CHKO Strážovské vrchy. Pomerne vysoký podiel má index stability hodnotený ako horný prah s podielom 23,2 %. V tomto prípade sa jedná o druhú najväčšiu kategóriu. Na tomto území riziko plytkého zosuvu nie je zanedbateľné. Avšak územie v rámci indexu stability prislúchajúce hornému prahu zaberá pomerne malú rozlohu (0,6 %). Územia spadajúce do kategórie označenej ako náchylný svah zaberajú približne jednu stotinu percenta.

Tab. 17: Podiel jednotlivých kategórií indexu stability pre územie CHKO Stráž. Vrchy

Index Stability	Rozloha [km ²]	Zastúpenie [%]
Stabilný svah	193.370	42.732
Stredne stabilný	65.641	14.506
Takmer stabilný	85.188	18.825
Dolný prah	105.423	23.298
Horný prah	2.833	0.627
Náchylný svah	0.050	0.012
SUMA	452.508	100

V nasledujúcom obrázku je grafický výsledok analýzy. Jedná sa o graf, v ktorom sú umiestnené náhodne vybrané body zo skúmaného územia. Z tohto grafu je vidieť, že najhustejšie zastúpenie je za čiarou, ktorá označuje index stability väčší ako 1,5. Hustota týchto bodov sa postupne so zvyšujúcim sa sklonom klesá a v intervale medzi 0,5 až 0,0 (horný prah) sa ich nachádza už iba niekoľko málo. Znamená to, že väčšina územia bola ohodnotená ako stabilná. Pomerne významné zastúpenie majú územia hodnotené indexom stability dolného prahu (0,5 – 1), ktoré zaberajú zo skúmaného územia 23,2 %. Mapové výstupy sú priložené v mapovej prílohe (mapa č. 5 a mapa č. 6).



Obr. 20: Grafický výstup z analýzy indexu stability CHKO Strážovské vrchy

Čo sa týka výsledkov analýzy vzhľadom na jednotlivé druhy kalibračných regiónov, najväčšie riziko sa potvrdilo v regiónoch s hlinito-piesočnatými (dolný prah: 40,3 %, horný prah: 0,8 %) a piesočnato-hlinitými pôdami (dolný prah: 36,8 %, horný prah: 1,2 %). Regióny s hlinitými (dolný prah: 24,1 %, horný prah: 0,7%) a ílovito-hlinitými pôdami (dolný prah: 13,7 %, horný prah: 0,2 %) majú v rámci týchto kategórií indexu stability menšie zastúpenie. V rámci výsledkov tejto skupiny regiónov sa potvrdil fakt, že zastúpenie pôdných druhov má vplyv na priebeh hodnôt. Dôvodom sú výsledky, podľa ktorých percentuálne zastúpenie ohrozených území klesá so zvyšujúcim sa obsahom ílu v pôde.

V rámci poľnohospodársky využívaných území pripadá necelých 95 % prvým trom kategóriám indexu stability. Dolný prah dosiahol 4,2 % a horný prah iba 0,005 %. V tomto prípade sa jedná o vynikajúci výsledok. Dôvodom môže byť fakt, že sú tieto územia lokalizované na miernych svahoch, kvôli dostupnosti poľnohospodárskej techniky.

Presné výsledky indexu stability v rámci jednotlivých druhov kalibračných regiónov sú v prílohe č. 5.

9.4 Overenie výsledkov v teréne

Na základe mapových výstupov analýzy náchylnosti územia na plytké zosuvy som sa tieto pokúsil overiť v teréne. Bolo zrejmé, že najväčší význam pri vyhodnocovaní náchylnosti pomocou modelu SINMAP má sklon svahu územia, pretože do kategórie „horný prah“ patria svahy s najväčším sklonom. Ostatné parametre, ktoré sú do modelu zadávané pomocou kalibračných regiónov, ako napr. kohézia alebo hustota pôdy, sú potrebné na dodatočnú reguláciu a spresnenie tohto modelu.

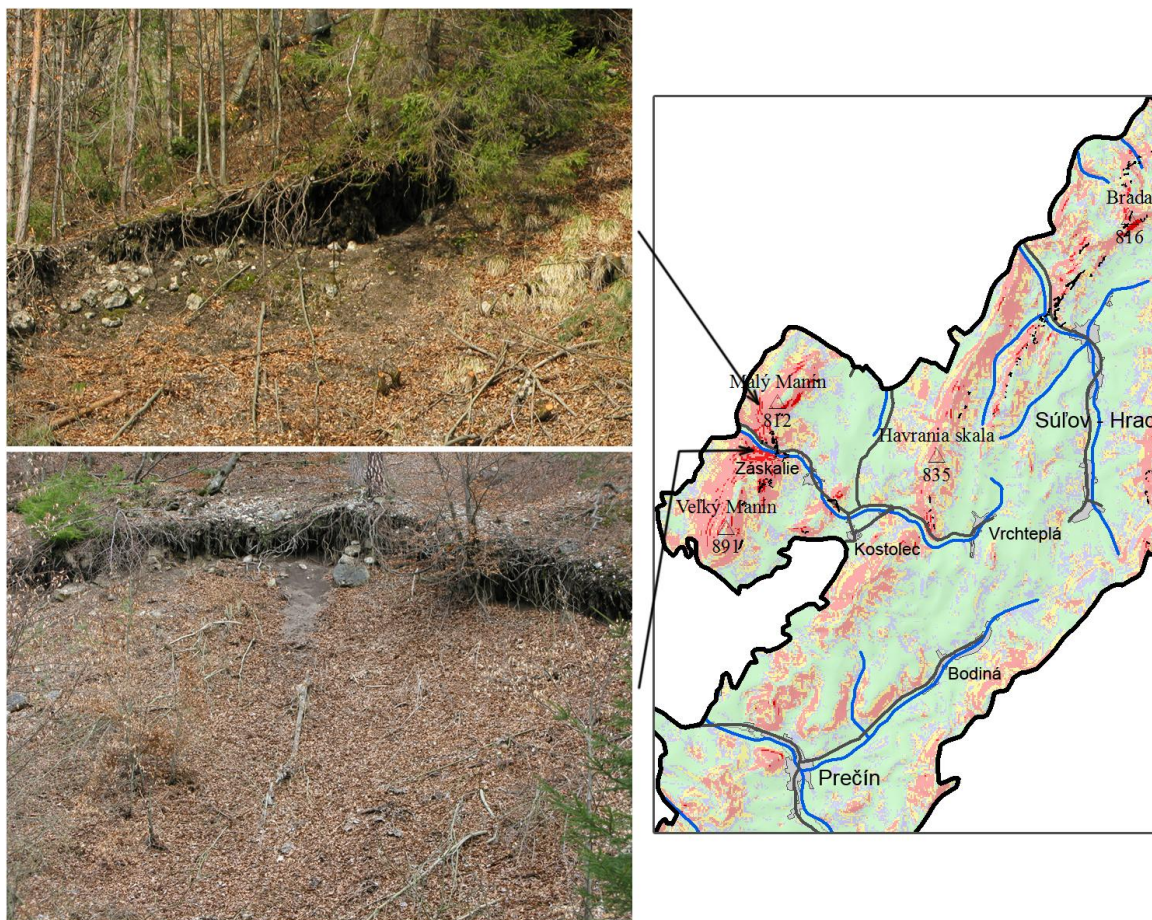
V prvom rade si treba uvedomiť, že sa jedná o modelovanie pravdepodobnosti voči zosuvu. To znamená, že v rámci prieskumu nemožno predpokladať, že na ohrozených miestach tieto zosuvy nájdeme. Je to z časti aj preto, že model neráta s rastlinným pokryvom, ktorý má na týchto územiach nezastupiteľnú úlohu. Ďalej je potrebné počítať s nepresnosťou digitálneho výškového modelu, ktorý mohol do určitej miery ovplyvniť výsledok modelovania.

Na základe grafického výstupu modelu SINMAP a obhliadky niektorých situácií v teréne možno konštatovať, že model dáva pomerne dobré výsledky. Z hľadiska týchto

výsledkov sa javí ako naozaj vhodná voľba deliť modelované územie na kategórie bez ohrozenia (kategórie 1 až 3) a ohrozené kategórie (4 a 5) v tabuľke č. 14.

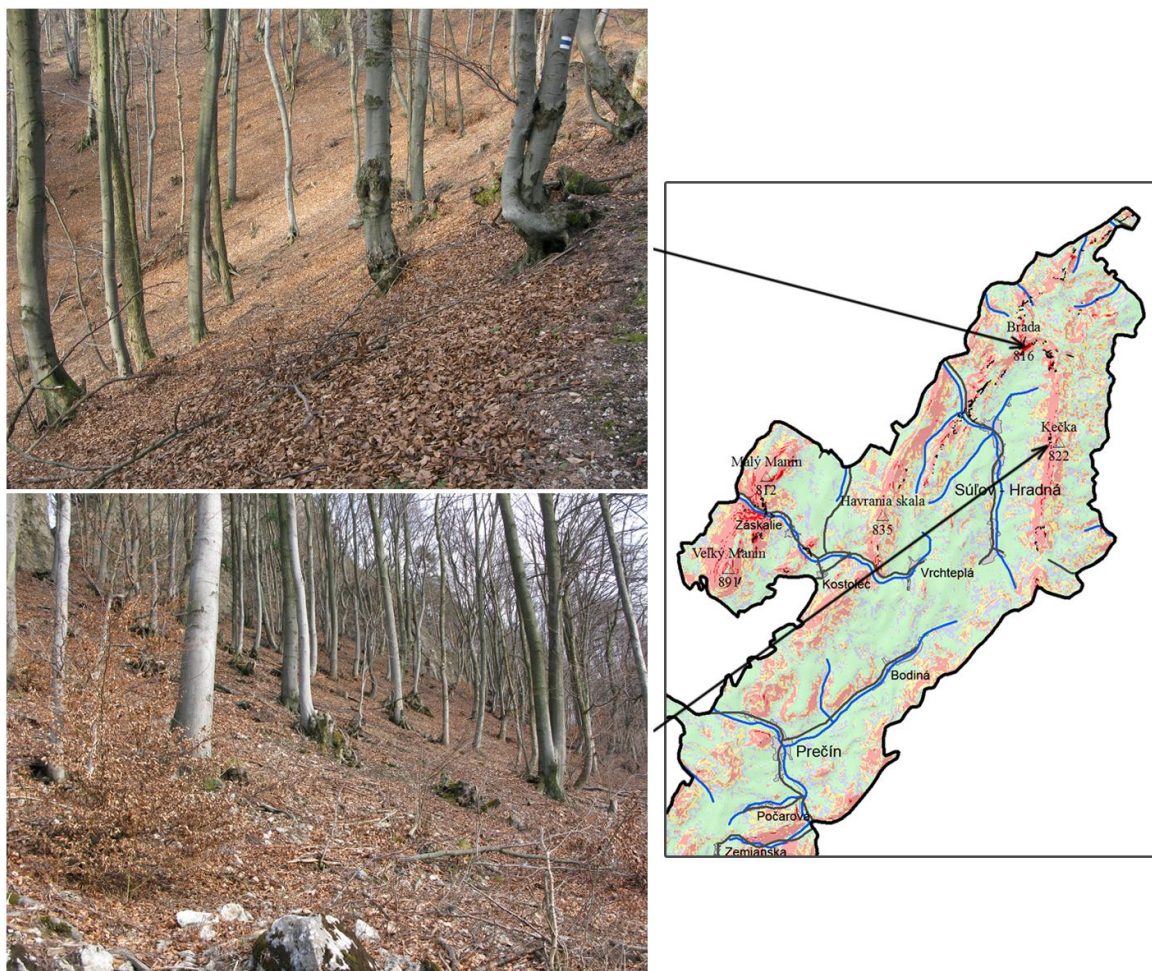
V rámci týchto dvoch ohrozených kategórií boli zistené situácie, kde by za určitých podmienok naozaj mohlo dôjsť k zosunutiu vrchnej časti pôdnej vrstvy. Na týchto územiach mal veľmi dôležitú úlohu stromový porast, ktorý svojou koreňovou sústavou spevňoval pôdnu vrstvu. Jeden z prípadov odtrhnutej časti pôdnej vrstvy som našiel na svahu Malého Manína. Toto územie bolo v rámci analýzy zaradené do kategórie „horný prah“. Situácia je zobrazená vo vrchnej časti nasledujúceho obrázku.

Pri obhliadke na území blízko obce Záskalie, v rámci územia zaradeného do kategórie „horný prah“, som narazili na prípad, kde došlo k takémuto zosunutiu vrchnej časti pôdnej vrstvy. V tomto prípade nie je isté, či došlo k tomuto zosuvu vplyvom výrubu stromového porastu, alebo sa jednalo o spontánnu udalosť. Tento prípad je zobrazený v spodnej časti nasledujúceho obrázku.



Obr. 21: Zosunutá časť pôdneho horizontu na svahu Malého Manína (hore) a v blízkosti obce Záskalie (dole)

Čo sa vo všeobecnosti týka území zaradených do kategórií dolný prah a horný prah, jedná sa o strmé svahy. Túto ohrozenosť nasledovne čiastočne ovplyvňujú dodatočné parametre týkajúce sa vlastností pôdy. Tieto kategórie pozostávajú zo strmých svahov, ktorých príklady sú na obrázku č. 22. Z tohto obrázku je zrejmé, že v týchto miestach dochádza k pôsobeniu gravitačných svahových procesov, konkrétne dochádza k plazeniu. Plazenie je pomalé tečenie hmoty, kedy napätie v hornine, alebo v zemine neprekročí medzu pevnosti, ale i tak dochádza k deformáciám [4]. V tomto prípade je dôkazom ohýbanie stromov a vznik tzv. opitého lesa, čo je vidieť na doleuvedených fotografiách.



Obr. 22: Príklady území tvoriacich kategórie dolného a horného prahu ohrozenosti územia na plytké zosuvy

V rámci území ohodnotených stupňami 1 až 3 sa jedná o prípady, kde je svah daného územia menej strmý, čím sa jeho náchylnosť na zosuv znižuje. V našom prípade

spadá do týchto kategórií približne 76 % územia. Výstupné mapy z tejto analýzy sú v mapovej prílohe (mapa č. 5 a mapa č. 6).

Na záver môžeme konštatovať, že SINMAP je model, ktorý by sa mohol uplatniť v rôznych profesiách, napríklad v lesnej správe, alebo v správe CHKO SV. Pozitívom tohto modelu je pomerne malá náročnosť a jednoduchosť tohto modelu. V prípade použitia kalibračných regiónov už je však nutné poznať niektoré hodnoty zamerané na vlastnosti pôd. Tento problém je však minimalizovaný použitím rozmedzí v rámci týchto hodnôt. Ďalšou výhodou tohto modelu je možnosť kalibrácie, ktorá sa prevádza na základe existujúcej bodovej vrstvy zaznamenaných zosuvov na danom území. Túto možnosť som však v tomto prípade nemal možnosť overiť, pretože informácie tohto typu neboli k dispozícii.

ZÁVER

Hlavným cieľom tejto práce bolo preskúmať možnosti zrážkovo-odtokového modelu LISEM. V tomto prípade sa jedná o výkonný model, ktorý simuluje hydrologické a pôdno-erózne procesy počas jednotlivých zrážkových udalostí na území vybraného povodia. A tým je jedným z mála čo to dokázu. Použitím tohto modelu je možné simulovať dopad zmien vzhľadom na využitie zeme a preskúmať ich scenáre. Jedná sa o hodnotný nástroj pre plánovanie efektívnych opatrení, k zmierňovaniu efektu povrchového odtoku a erózie. Výhodou LISEMu je aj to, že produkuje detailné mapy pôdnej erózie a povrchového odtoku. Medzi veľkú výhodu patrí možnosť modelovania lineárnych foriem erózie, čo je medzi eróznymi modelmi pomerne ojedinelý prípad.

Keďže sa jedná o model, ktorý nič nepredpokladá, dochádza tu k situáciám, ktoré pre začiatočníka vyústia do rady nevýhod. Problém je v tom, že sa jedná o model, ktorý by mal byť používaný skupinou odborníkov, alebo výskumníkov, majúcich k dispozícii laboratórium na získavanie potrebných údajov. Dôvodom je fakt, že pre niektoré vstupné vrstvy je prakticky nemožné získať zodpovedajúce hodnoty.

Počas zhotovovania jednotlivých vstupných vrstiev som sa stretol s viacerými analýzami, ktoré použili práve tento model. Boli zhotovené v rôznych častiach Zeme. Väčšinou sa zaoberali analýzou v rámci povodia. Na základe týchto výsledkov, ktoré síce neboli zlé, avšak mohli by byť lepšie, by som odporučil zhotovovať túto analýzu pre menšie územia (napríklad v rámci svahu, a nie celého povodia). Dôvodom je obrovský nárast laboratórnych testov z jednotlivých vzoriek pri analýze väčšieho územia. Ako hlavnú prioritu pri zhotovovaní vstupných vrstiev je mať čo najpresnejší digitálny výškový model (zhotovený napríklad pomocou LIDARu a pod.), pretože jeho presnosť sa odzrkadlí pri skúmaní erózných rýh v teréne. Pri zhotovovaní jednotlivých vstupov pre túto prácu takéto možnosti neboli k dispozícii, čo sa nakoniec odzrkadlilo v samotnom výsledku. Preto odporúčam do budúcnosti prípadným záujemcom zvážiť fakt, či by nebolo vhodnejšie na podobné účely využiť niektorý z iných modelov.

Ďalšia časť tejto práce sa zaoberala modelovaním plytkých zosuvov, využitím modelu SINMAP. Na základe mojich skúseností môžem konštatovať, že SINMAP patrí medzi využiteľné modely. Síce je pravda, že vstupných údajov požadovaných na spustenie základnej analýzy nie je mnoho, je tu ale možnosť spresnenia využitím kalibračných

regiónov. Niektoré vstupné údaje síce nie je jednoduché získať, no tento problém je ošetrovaný zadávaním hornej a dolnej hranice jednotlivých hodnôt. Medzi profesie, v rámci ktorých by tento model mohol nájsť využitie, patria napr. lesné správy, alebo správy chránených území, kde by mohol byť používaný v rámci plánovania výrubov niektorých území. Tu by mohol tento model predpovedať efekt, ku ktorému by mohlo dôjsť pri poškodení rovnováhy na rizikovitom území.

Verím, že táto diplomová práca priniesla do tejto problematiky niečo nové a bude aspoň z časti nápomocná pre správu CHKO Strážovské vrchy a pre záujemcov, ktorí sa budú v budúcnosti venovať problematike modelovania fluviálnej erózie.

ZOZNAM INFORMAČNÝCH ZDROJOV

- [1] BEDIENT, Philip; HUBER, Wayne. *Hydrology and Floodplain Analysis*. 3. vyd. Prentice Hall, 2002. 816 s. ISBN 9780130322227
- [2] BENNET, Hugh Hammond. *Elements of Soil Conservation*. 2. Vyd. Londýn: McGraw-Hill, 1955. 358 s.
- [3] BUČKO, Štefan; MAZÚROVÁ, Valéria. *Výmoľová erózia na Slovensku*. In Zachar, D., ed. *Vodná erózia na Slovensku*. Bratislava, Vydavateľstvo SAV, 1958. s. 68-101.
- [4] DEMEK, J.; PAŠEK, J.; RYBÁŘ, J. *Principy působení eroznědenudačních pochodů*. Brno: *Studia Geographica* 51, 1975. s. 195-204.
- [5] FULAJTÁR, Emil; JANSKÝ, Libor. *Vodná erózia pôdy a protierózna ochrana*. 1. vyd. Bratislava: VÚPOP, 2001. 310 s. ISBN 80-85361-85-X
- [6] HOLÝ, Miloš. *Eroze a životní prostředí*. Vydavatelství. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1994. 383 s. ISBN 80-01-01078-3
- [7] JANEČEK, Miloslav a kolektiv. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. vyd. Praha: ISV nakladatelství, 2002. 202 s. ISBN-85866-85-8
- [8] ĽUPTÁK, Ján. *Posúdenie vplyvu zmeny pokryvu územia (odlesnenie) na zrážkoodtokové vzťahy v povodí Hrona*: diplomová práca. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 2008. 72 s.
- [9] MARKO, Jozef. *CHKO Strážovské vrchy*. Bratislava: Ekológia, 1991. 34 s. ISBN 80-85559-02-1
- [10] MARSCHALKO, Marián; IDES, David. *Vliv zvodnění na gravitační pohyby sesuvného typu ve svazích Karpatského flyše*. In *Sborník ref. Konference Recyklace odpadů V*, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001.
- [11] MAZÚR, Emil; LUKNIŠ, Michal. *Geomorfologické členenie SSR a ČSSR. Časť Slovensko*. Mapa mierky 1:500 000. Bratislava: Slovenská kartografia, 1986
- [12] MRÁČEK, Zdeněk; KREČMER, Vladimír. *Význam lesa pro lidskou společnost*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1975. 225 s.
- [13] ŠÁLY, R.; ŠURINA, B. *Pôdy*. In *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR; Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia, 2002. s. 106 – 107

- [14] SCHMIDT, Jürgen. *Soil erosion: Application of physically based models*. 1. vyd. Berlín: Springer – Verlag, 2000. 318 s. ISBN 3-540-66764-4
- [15] UNUCKA, Jan. *Hydrologické modely*. Ostrava: VŠB - TUO, 2008. 54 s.
- [16] VAVRÍK, Bartolomej; VAVRÍKOVÁ, Eta a kolektív. *Strážovské vrchy - turistický sprievodca*. Bratislava: Šport, 1985. 320 s.
- [17] VLČKO, Ján; VOJTAŠKO, Ivan. *Engineering geology and urban environment: a contribution to two problems*. Acta geologica et geogr. Univ. Com., Geologica Nr. 46, 1991
- [18] ZACHAR, Dušan. *Erózia pôdy*. 2. vyd. Bratislava: SAV, 1970. 528 s.
- [19] *Calibration of the LISEM model for a small Loess Plateau catchment* [online]. 2003. [cit. 2009-11-14]. Dostupný na WWW:
<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCG-48SPBWM-1&_user=822117&_coverDate=11%2F30%2F2003&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1291821488&_rerunOrigin=google&_acct=C000044516&_version=1&_urlVersion=0&_userid=822117&md5=ec70a66c00417cc549548ceffd2ea6dd>
- [20] *Estimating Random roughness in the field* [online]. [cit. 2010-02-22]. Dostupný na WWW: <<http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/agronomy/roughness.html>>
- [21] GOTTSCHALK, John; HOUSER, Paul; ZENG, Xubin. *Impact of remotely sensed Leaf Area Index on a global Land Data Assimilation System*. [online]. Arizona: University of Arizona, 2002. 4 s. [cit. 2009-02-23]. Dostupný na WWW:
<<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/29855.pdf>>
- [22] HLAVČOVÁ, Kamila; SZOLGAY, Ján; KOHNOVÁ, Silvia; PAPÁNKOVÁ, Z. *Analýza zmeny odtoku spôsobenej zmenou využívania územia na povodí Ipl'a*. [online]. Bratislava: Stavebná fakulta STU, 2006. 60s. [cit. 2009-10-24]. Dostupný na WWW: <http://www.cbks.cz/sbornikStrecno06/prispevky/Sekcia_6/S6-2.pdf>
- [23] KOPECKÝ, Miloslav. *Možnosti prognózovania vzniku zosuvov v SR na základe klimatických a hydrologických pomerov*. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2004. 9 s. [cit. 2010-01-12]. Dostupný na WWW: <<http://gse.vsb.cz/2004/L-2004-2-63-72.pdf>>

- [24] *LISEM: The input maps*. [online]. 2010. [cit. 2010-01-14]. Dostupný na WWW: <<http://www.itc.nl/lisem/>>
- [25] *NATURA 2000*. [online]. 2010. [cit. 2010-01-12]. Dostupný na WWW: <<http://www.sopsr.sk/strazovskevrchy/natura.html>>
- [26] *NutShell for PCRaster*. [online]. 2009. [cit. 2010-03-02]. Dostupný na WWW: <<http://www.itc.nl/lisem/nutshell/>>
- [27] *Opis a vývoj zrážkovo-odtokového modelu s priestorovo rozčlenenými parametrami frier*. [online]. [cit. 2009-02-23]. Dostupný na WWW: <http://www.esprit-bs.sk/stranka_data/subory/frier.pdf>
- [28] *PCRaster Environmental Modeling Language*. [online]. 2008. [cit. 2010-02-29]. Dostupný na WWW: <<http://pcraster.geo.uu.nl/index.html>>
- [29] *PESERA: Pan-European Soil Erosion Risk Assessment*. [online]. 2001. 140 s. [cit. 2010-12-5]. Dostupný na WWW: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_cd/pdf/Pesera2AnnRep.pdf>
- [30] SABBAGH, Moutaz. *Surface runoff modellin using GIS and remote sensing*. [online]. 2001. 96 s. [cit. 2010-01-12]. Dostupný na WWW: <http://www.itc.nl/library/Papers/msc_2001/Moutaz_Al-Sabbagh.pdf>
- [31] *SINMAP 2: A Stability Index approach to Terrain Stability Hazard mapping*. [online]. 2005. 73 s. [cit. 2010-01-14]. Dostupný na WWW: <<http://hydrology.neng.usu.edu/sinmap2/sinmap2.PDF>>
- [32] *Soil Quality Indicators: Aggregate Stability*. [online]. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1996. 2 s. [cit. 2010-01-12]. Dostupný na WWW: <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_eig_1.pdf>

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: Minimálne hodnoty privalových dažďov podľa L. S. Berga.....	23
Tab. 2: Klasifikácia škodlivosti plošnej erózie podľa intenzity odnosu.....	29
Tab. 3: Triedenie intenzity ryhovej erózie podľa dĺžky erózných rýh.....	30
Tab. 4: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vlastností povodia.....	45
Tab. 5: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vegetácie.....	50
Tab. 6: Pridelenie hodnôt podielu pôdy krytej vegetáciou k areálom z CORINE Land Cover 2000.....	52
Tab. 7: Pridelenie hodnôt výšky vegetácie k areálom z CORINE Land Cover 2000.....	53
Tab. 8: Zoznam vstupných vrstiev týkajúcich sa vlastností pôd.....	53
Tab. 9: Hodnoty Manningovho koeficientu drsnosti priradené k jednotlivým typom využitia zeme.....	54
Tab. 10: Vstupy jednovrstvového infiltračného modelu Green & Ampt.....	56
Tab. 11: Erózo-sedimentačné vstupné vrstvy.....	58
Tab. 12: Koeficienty použité na výpočet agregovanej stability.....	59
Tab. 13: Vstupné vrstvy týkajúce sa erózných rýh.....	61
Tab. 14: Vlastnosti hraničných hodnôt indexu stability v modeli SINMAP.....	74
Tab. 15: Hodnoty fyzikálnych vlastností pôdy v jednotlivých regiónoch v kalibračnej vrstve vstupujúcej do SINMAPu	75
Tab. 16: Zastúpenie jednotlivých druhov regiónov tvoriacich vrstvu kalibračných regiónov územia CHKO Stráž. Vrchy.....	76
Tab. 17: Podiel jednotlivých kategórií indexu stability pre územie CHKO Strážovské vrchy vrchy.....	77

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1: Znak CHKO Strážovské vrchy.....	11
Obr. 2: Schematické vymedzenie záujmového územia v rámci Slovenska.....	12
Obr. 3: Dopad dažďovej kvapky na pôdu.....	23
Obr. 4: Vzťah medzi dĺžkou svahu a zmyvom pôdy podľa A. S. Kozmenka.....	25
Obr. 5: Ročný chod zmyvu pôdy.....	31
Obr. 6: Schéma modelu erózneho procesu podľa Meyera a Wischmeiera.....	33
Obr. 7: Okno aplikácie Nutshell pre podporu modelovacieho jazyka PCRaster.....	40
Obr. 8: Schématické vymedzenie Zliechovskej doliny v rámci CHKO Strážovské vrchy.....	42
Obr. 9: Okno aplikácie NutShell na vytvorenie mapového klonu.....	45
Obr. 10: Smer odtoku pre dátový typ LDD.....	46
Obr. 11: Výrez z vrstvy LDD.....	47
Obr. 12: Štruktúra textového súboru použitého na reklasifikáciu.....	48
Obr. 13 Výrez zo vstupnej vrstvy OUTLET, prekrytej vrstvou LDD.....	50
Obr. 14 Časť súboru obsahujúceho údaje o zrážke.....	63
Obr. 15 Výstupné simulačné okno modelu LISEM.....	66
Obr. 16: Krajinný pokryv na území Zliechovskej doliny.....	67
Obr. 17: Vznik odtokového kanálu vplyvom sústredeného odtoku.....	69
Obr. 18: Lineárne formy erózie na zatravnených plochách Zliechovskej doliny.....	70
Obr. 19: Percentuálny podiel niektorých faktorov na vznik zosuvov pôdy na Slovensku (údaje z ankety na obecných úradoch).....	71
Obr. 20: Grafický výstup z analýzy indexu stability CHKO Strážovské vrchy.....	77
Obr. 21: Zosunutá časť pôdneho horizontu na svahu Malého Manína (hore) a v blízkosti obce Zásكالie (dole).....	79
Obr. 22: Príklady území tvoriacich kategórie dolného a horného prahu ohrozenosti územia na plytké zosuvy.....	80

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1: Základná štruktúra výpočtu modelu LISEM

Príloha 2: Vybrané intervaly indexu listovej pokrývnosti z rôznych zdrojov

Príloha 3: Tabuľka pórovitosti pôd

Príloha 4: Štruktúra prídavného textového súboru pre vrstvu kalibračných regiónov
vstupujúcu do modelu SINAMP (výrez zobrazenia v textovom editore)

Príloha 5: Výsledky indexu stability v rámci jednotlivých druhov kalibračných regiónov.

Mapová príloha

Mapa č. 1: Výškové pomery reliéfu Zliechovskej doliny

Mapa č. 2: Intenzita erózie na území Zliechovskej doliny

Mapa č. 3: Intenzita depozície na území Zliechovskej doliny

Mapa č. 4: Výškové pomery reliéfu CHKO Strážovské vrchy

Mapa č. 5: Index stability CHKO Strážovských vrchov

Mapa č. 6: Oblasti s najvyšším rizikom ohrozenia stability svahu CHKO Strážovských
vrchov